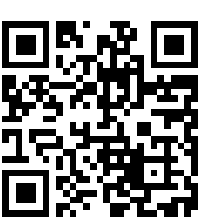
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

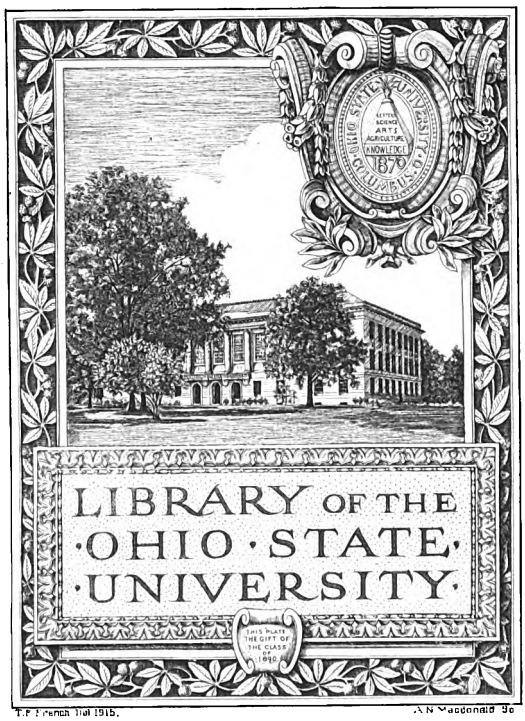
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886

QUATRIÈME SÉRIE

TOME VIII — ANNÉE 1928

OHIO STATE UNIVERSITY

PARIS

ETIENNE CHIRON, ÉDITEUR

40, RUE DE SEINE

1928

Digitized by Google

OHIO STATE
UNIVERSITY

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Assemblée générale du Samedi 7 Janvier 1928, p. 6.
Réunion ordinaire mensuelle du Samedi 7 Janvier 1928, p. 6.
Admission des Membres titulaires, p. 7.
Distinctions accordées aux Membres de la Société, p. 7.
Dons à l'Ecole Supérieure d'Électricité, p. 8.
Allocutions du Président sortant et du Président entrant, p. 9.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Les Commutateurs de prise haute tension (M. CORNUDET) p. 11. — L'Oscillographe cathodique Dufour (M. GONDET) p. 35. — Etude de l'effet Wiedemann et ses applications (M. FROMY) p. 47.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS :

Renouvellement partiel du Bureau et du Comité par l'Assemblée générale du 7 Janvier 1928, p. 77.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 79. — Texte, p. 79.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 105.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 111.

IL Y A TRENTE ANS, p. 115.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

4e série, tome VIII, n° 77.

353531

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du Samedi 7 Janvier 1928

Présidence de M. Ch. Fabry.

L'Assemblée est ouverte à 16 h. 30.

M. le Président invite les Membres qui n'auraient pas envoyé leur vote pour le renouvellement partiel du Bureau, du Comité et de la Commission des Comptes à déposer leur bulletin dans l'urne.

MM. les scrutateurs dépouillent le scrutin, dont M. le Président proclame le résultat (voir p. 77 du présent Bulletin).

L'Assemblée générale est levée à 17 heures.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 7 Janvier 1928

La séance est ouverte à 17 heures.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Alemany (Georges-Arsène), ingénieur à la Compagnie des Compteurs, rue Marengo, Marseille. Domicile : 26, boulevard Mérentie, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Genkin et Fallou.

Bricout (Pierre-Albert), docteur ès sciences, 22, rue du Général-Foy, Paris (8e). — Présenté par MM. Fabry et Eydoux.

Compagnie française des métaux, 7, rue du Cirque, à Paris (8e). — Présenté par MM. Béné et Grosselin.

Dubost (Pierre), directeur technique des domaines de la Société coloniale de Bambao, à Anjouan, 5, place de Villiers, Levallois-Perret. — Présenté par MM. Guilbert et Jouvion.

Friederich (René-Adolphe), ingénieur-conseil, vice-président de l'Union des Consommateurs d'Electricité et de Gaz de France, 154, avenue Parmentier, Paris (10e). — Présenté par MM. Guilbert et Jouvion.

Gires (Pierre-Léon-Louis), ingénieur chef de la Centrale de Lourches, à Lourches (Nord). — Présenté par MM. Gosselet-Witz et R. Facq.

Digitized by Google

Guignard (Edouard-William-Maurice), ingénieur en chef de la Société parisienne pour l'industrie des chemins de fer et tramways électriques, Service des Travaux, 77, boulevard Haussmann, Paris. Domicile : 16, rue Pasteur, à Bois-Colombes (Seine). — Présenté par MM. Ehrmann et de Coninck.

Laennec (Edouard), ingénieur aux Mines de Lens, à Pont-à-Vendin (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Gosselet-Witz et Sprecher.

Lecocq (Fernand), directeur du Service de l'Electrification du département de la Gironde, 153, rue David-Johnston, Bordeaux (Seine). — Présenté par MM. Wagner et Ledieu.

Rodallec (Bertrand), directeur aux Câbles de Lyon, 23, rue Auguste-Comte, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Wallut.

Tournon (Pierre-Jacques-Charles). agent technique de la Société française Radio-Electrique, 5, rue Edmond-Gondinet, Paris (13e). — Présenté par MM Chauveau et Grosselin.

Zatarain (Guillermo), ingénieur, plaza de la Esperanza n° 3, 3e Santander (Espagne). — Présenté par MM. José Maria de Madariaga et Louis Berenguer.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président annonce les promotions ci-après dans l'ordre de la Légion d'Honneur :

Grand Officier.

M. le général Ferrie, Membre de l'Institut, Commandant supérieur des troupes et services de transmissions.

Commandeur.

M. Ulrich (Jacques), Administrateur, Délégué de la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain de Paris.

Officiers.

MM. Belin (Edouard), Administrateur Délégué des Etablissements E. Belin;

Holzschuch (Jacques), Ingénieur Conseil;

Jouaust (Raymond), Sous-Directeur du Laboratoire Central d'Electricité;

Meyer (Marcel), Directeur de la Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force. Trésorier de la S. F. E.;

de Valbreuze (Robert), Administrateur Délégué de la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage.

Chevaliers.

MM. Brandt (J. C. E.), de la Maison Brandt et Fouilleret;

Foulhouze (Amable), Docteur en droit, Ingénieur Conseil, Expert près les Tribunaux;

Georges (Lucien), Directeur de l'Ouest-Lumière;

Mathivet (Jules), Ingénieur en Chef des Travaux du Jour aux Mines de Vicoigne, Nœux et Drocourt;

Digitized by Google

METZGER (Louis-Joseph), Directeur technique des Usines diélectriques de Delle ;

RAUBER (Emile-Adolphe), Directeur de la Centrale Electrique de l'Union d'Electricité.

M. le Président fait part de différents dons faits à l'Ecole Supérieure d'Electricité :

1° *par la Compagnie Continentale des Compteurs* : 1 compteur étalon triphasé, 1 compteur étalon monophasé, 3 compteurs monophasés réactifs, 3 compteurs triphasés, 3 compteurs triphasés réactifs, 3 ampèreheuremètres, 3 wattheuremètres à collecteur;

2° *par l'Appareillage électrique de la Seine* : 70 prises de courant modèle anglais, 3 ampères;

3° *par les Etablissements Grelot et Legrand* : 20 extincteurs d'incendie;

3° *par les Etablissements Maure à Orléans* : diverses pièces de petit appareillage.

M. le Président adresse à ces diverses Sociétés les remerciements de la S. F. E.

Il remercie également les donateurs des ouvrages offerts dont la liste est donnée dans le présent bulletin.

L'ordre du jour appelle les communications techniques :

M. CORNUDET, Ingénieur à la Compagnie française d'Electricité A. S. E. A., fait une communication sur *les commutateurs de prise haute tension* qui permettent de régler la tension des réseaux de distribution, par modification du nombre de spires des transformateurs, indépendamment du facteur de puissance et peuvent avoir, à ce titre, un rôle intéressant à remplir à côté des régulateurs d'induction et des compensateurs synchrones.

M. le Président remercie M. CORNUDET de sa très intéressante communication.

M. GONDET, Ingénieur à la Maison Beaudouin, décrit et présente *l'oscillographe Dufour* à rayons cathodiques qui, après avoir permis à son inventeur l'enregistrement de fréquences dépassant 100 millions de p : s trouve aujourd'hui en tous pays, dans de nombreux laboratoires industriels une application pratique.

M. le Président remercie vivement M. GONDET de sa communication et rend hommage à l'habileté qu'a dû mettre en œuvre M. DUFOUR pour réaliser son remarquable appareil.

Digitized by Google

M. FROMY, Docteur ès sciences, Ingénieurs aux Laboratoires de l'E. C. M. R., expose une théorie de l'effet Wiedemann qui le rattache de manière satisfaisante à l'effet de Joule de magnétostriction et il décrit une application de ce phénomène à la réalisation d'un galvanomètre à résonance.

M. le Président remercie M. FROMY de son intéressant exposé et prononce ensuite l'allocution suivante :

Messieurs,

« Voici votre Bureau et Votre Conseil reconstitués; mon rôle comme président est terminé. Il me reste à vous exprimer, encore une fois, tous mes remerciements pour le grand honneur que vous m'avez fait en m'appelant à présider vos réunions. Cette année de présence régulière au milieu de vous a été pour moi particulièrement instructive et agréable; j'en garderai le meilleur souvenir.

« Je regrette seulement de ne pas voir ce soir à côté de moi notre délégué général, M. GROSSELIN, qui a été pour moi un guide si sûr et si dévoué; je suis certain d'être votre interprète en exprimant ici les souhaits que nous formons pour sa prompte guérison. Son absence me permet, du moins, de dire sans risquer d'offenser sa modestie combien nous apprécions tous les services qu'il rend à notre Société, où il représente l'élément de continuité indispensable à la bonne santé d'un organisme vivant comme le nôtre. Une collaboration presque quotidienne avec lui (dans laquelle il a eu souvent la délicatesse de me laisser, en apparence, l'initiative des bonnes idées qui venaient de lui) laissera dans mon esprit le plus charmant souvenir.

« L'année qui vient de finir a été, pour notre Société, une année de réalisation, où elle a reçu la récompense de longues années de sagesse et de bonne administration. L'inauguration du nouveau local de l'Ecole supérieure d'électricité place enfin notre grande école technique dans un cadre digne de sa renommée. Divers indices permettent de penser que le Laboratoire Central pourra bientôt, à son tour, se développer et rendre les services que la valeur de son personnel permet d'en attendre. Le nombre des membres de notre Société a largement dépassé 2 000 et continue à croître suivant une loi régulière. Il faut s'attendre, avec un aussi rapide développement, à une petite crise de croissance, qui donnera quelques inquiétudes à notre ministre des Finances et à ceux de nos Collègues qui, avec un inlassable dévouement, s'occupent de nous trouver les ressources nécessaires. Avec la bonne volonté de tous, cette crise sera facilement surmontée.

« L'année qui commence peut donc être considérée comme le début d'une ère nouvelle pour notre Société. Il fallait, pour inaugurer

Digitized by Google

ces temps nouveaux, un Président particulièrement brillant; vous ne pouviez mieux faire que de choisir M. IMBS, l'homme qui éclaire la Ville-lumière, la lumière des lumières. En remettant à M. IMBS les pouvoirs présidentiels, je souhaite à notre Société un avenir prospère, pour le plus grand bien de l'électrotechnique ».

M. IMBS, Président entrant répond en ces termes :

Mes Chers Collègues,

« Je remercie vivement notre Président sortant des paroles très aimables qu'il a dites à mon égard et je ressens très profondément l'honneur que vous m'avez fait de m'appeler à la Présidence de votre grande Société savante pour l'année 1928.

« Comme l'a dit M. FABRY, une ère nouvelle s'ouvre devant nous à la suite de la construction de la nouvelle école qui donne enfin au haut enseignement de l'électro-technique un cadre digne de lui.

« L'année 1927 aura été l'une des plus glorieuses de la Société Française des Electriciens par suite de l'inauguration de notre nouvelle école; mais nous ne saurions omettre dans l'avenir de rattacher à ce souvenir celui de notre grand Président.

Nous avons tous apprécié, mon cher Monsieur FABRY, avec quelle simplicité vous aviez mis votre talent et votre haute culture à la disposition de notre Société. Je ne veux pas rappeler en ce moment et je n'en serais pas digne, vos travaux personnels et tout ce qui fait de vous l'illustre savant que vous êtes; mais votre réputation a rejailli sur notre Société; votre cordialité nous a également émus car, dans chacune des circonstances qui se sont succédées, vous avez toujours su nous dire, avec une éloquence à la fois spirituelle et amicale, les paroles qui pouvaient le mieux nous toucher.

« Aussi suis-je sûr d'être l'interprète de tous mes collègues en vous remerciant chaleureusement de la manière dont vous avez rehaussé la gloire de notre Société, à la fois devant nous en France et devant nos collègues de l'étranger.

« Nous sommes fiers de vous avoir eu comme Président au cours de l'année exceptionnelle de 1927.

« Ma tâche sera plus facile en 1928; quoi qu'il en soit, vous pouvez compter, mes chers Collègues, sur mon entier dévouement pour continuer les traditions de la Société Française des Electriciens.

La séance est levée à 18 h 45.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

LES COMMUTATEURS DE PRISES HAUTE TENSION

par M. CORNUDET

Ingénieur à la Société A.S.E.A.

Après avoir rappelé les principales caractéristiques requises pour le réglage de la tension sur les réseaux de distribution, l'auteur décrit les appareils de réglage par transformateurs et auto-transformateurs à prises multiples combinés avec des commutateurs de prises pour manœuvre en charge construits par la Société ASEA. Il indique les limites d'emploi de ces appareils qui peuvent être utilisés pour toutes les tensions et les intensités pratiquement possibles, montre les différentes combinaisons de schéma les plus usuelles et termine par une comparaison entre ces appareils, les régulateurs d'induction et les condensateurs synchrones.

Le but de cette étude rapide est de donner quelques indications sur l'utilisation et la construction des commutateurs de prises pour manœuvre en charge utilisés en liaison avec des auto-transformateurs ou des transformateurs à prises multiples, et permettant d'effectuer en pleine charge sans interruption du service le réglage de la tension sur les réseaux de distribution.

En fait, ces appareils sont connus depuis longtemps et on en trouve des échantillons sur un certain nombre de réseaux. Mais jusqu'à ces dernières années leur emploi ne s'était pas généralisé et même maintenant la plupart des constructeurs, au moins en Europe, semblent manifester une certaine hésitation à développer la construction de ce genre de matériel. Il serait difficile de décrire les différents types actuellement sur le marché, car les renseignements relatifs à la construction sont assez rares. Nous limiterons donc cette étude à la description des commutateurs de prises construits par la Société Suédoise ASEA et à quelques remarques concernant leur utilisation.

Il est à noter d'ailleurs que, contrairement à la presque totalité des autres constructeurs, ASEA construit régulièrement des commutateurs de prises pour manœuvre en charge depuis vingt ans environ, les premiers appareils ayant été exécutés vers 1908 pour le réglage de la

Digitized by Google

tension des transformateurs de fours électriques. Il est évident que cela lui donne une expérience non négligeable dans cette fabrication, ce qui lui a valu, chose assez remarquable, la commande récente en Allemagne d'un commutateur de prises pour 30 000 kVA, 36 000 V et 17 positions de réglage entre 36 000 V + 15 pour cent et 36 000 V — 15 pour cent, bien qu'il ait été fait appel pour cette affaire à tous les grands constructeurs allemands et suisses.

Remarques sur les divers réglages de la tension et sur les appareils permettant de les réaliser.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur l'importance prise par le problème du réglage de la tension sur les réseaux de distribution depuis l'extension des distances de transport et l'interconnexion des réseaux.

Si l'on examine les *besoins de réglage d'un grand réseau* complexe, on peut d'abord remarquer qu'il est utile de pouvoir modifier en bloc la tension d'une partie importante du réseau en fonction du développement de la clientèle ou de la variation de la charge moyenne selon les saisons. Ce réglage, qui se fait à de longs intervalles et *par échelons de 5 à 10 pour cent* de la tension normale en général, peut être effectué par des prises de réglages sorties de cuve sur les transformateurs principaux ou par des commutateurs de prises ordinaires placés sur les transformateurs et manœuvrables après leur mise hors circuit. Un tel réglage peut recevoir le nom de *réglage saisonnier*.

Au contraire lorsque l'on a besoin, comme c'est fréquemment le cas, de modifier la tension d'un feeder de distribution ou d'un groupe de feeders plusieurs fois par jour en fonction des variations de la chute de tension dans ces feeders selon les heures creuses ou les heures de pointe, ce *réglage journalier* doit se faire obligatoirement en pleine charge sans coupure de l'alimentation; de plus on opère alors en général dans ce cas *par intervalles de 3 à 5 pour cent*.

Enfin, dans certains cas on peut effectuer un *réglage rapide* compensant des *écarts* de tension de 1 *à* 3 *pour cent* produits par des variations plus fréquentes de la charge en particulier sur les feeders alimentant des centres de consommation à charge très irrégulière. Ce réglage doit se faire naturellement en pleine charge et d'une façon complètement automatique; le nom de réglage rapide ne spécifie pas cependant que le réglage doit être instantané, ce qui est le plus souvent complètement inutile, mais qu'il permet le réajustement de la tension en cas de variation d'une courte durée.

En plus de ces trois types de réglage on peut encore envisager le

Digitized by Google

réglage d'interconnexion qui permet la marche en parallèle de deux réseaux, tout en laissant leurs tensions respectives aussi indépendantes que possible l'une de l'autre ou en réglant l'échange entre eux du courant dévatté, suivant une répartition prévue à l'avance. Les caractéristiques du réglage d'interconnexion sont d'ailleurs très variables selon les circonstances, et doivent être étudiées dans chaque cas particulier.

Le réglage de la tension dans les conditions que nous venons d'indiquer peut être obtenu à l'aide d'appareils de types différents, parmi lesquels on peut citer en particulier les condensateurs synchrones, les régulateurs d'induction, et enfin les commutateurs de prises permettant le changement des connexions des transformateurs ou auto-transformateurs à prises multiples sous pleine tension et en charge et que nous désirons étudier plus spécialement.

Après une description rapide des commutateurs de prises, construits par la Société ASEA et de leurs différents modes d'utilisation, nous indiquerons pour terminer les caractéristiques comparées du réglage de la tension, en utilisant les différents dispositifs que nous venons d'indiquer.

Principe des commutateurs de prises ASEA

Origine des premiers appareils.

Le *principe* des commutateurs de prises ASEA pour manœuvre en charge est extrêmement simple et en fait *identique à celui bien connu des réducteurs de batteries d'accumulateurs.* Il consiste à transporter la ligne ou les extrémités d'un enroulement aux différentes prises de réglage d'un transformateur ou d'un auto-transformateur, le passage d'une prise à l'autre se faisant par l'intermédiaire d'une résistance connectée entre elles pendant un temps très court, ce qui permet le changement des connexions sans interruption du courant et sans court-circuit entre les deux prises de réglage intéressées. On voit que ce principe est bien celui utilisé dans les réducteurs de batteries d'accumulateurs, mais évidemment *les appareils sont construits d'une façon tout à fait différente en raison des tensions élevées en jeu.*

Comme nous l'avons indiqué précédemment les *premiers commutateurs* de prises *construits par* ASEA, *il y a environ vingt ans*, étaient *destinés au réglage de la tension des transformateurs de fours* électriques. La fig. 1 donne la vue intérieure d'un de ces appareils où l'on voit les frotteurs principaux et auxiliaires, analogues à ceux des réducteurs de batteries d'accumulateurs, les contacts fixes, et les secteurs de contact auxquels sont connectées les résistances intermé-

Digitized by Google

diaires de passage. Bien entendu le dispositif est constitué par trois jeux de contacts fixes et mobiles, un pour chaque phase, visibles sur

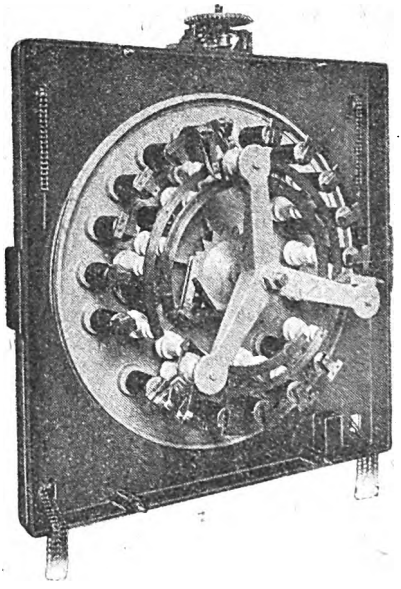


Fig. 1. — Vue intérieure d'un commutateur de prises pour transformateur de four pour 5 positions de réglage, 22.000 V, 200 A.

la figure et commandés par un arbre central attaqué lui-même par un dispositif de transmission à engrenages coniques, permettant la ma-

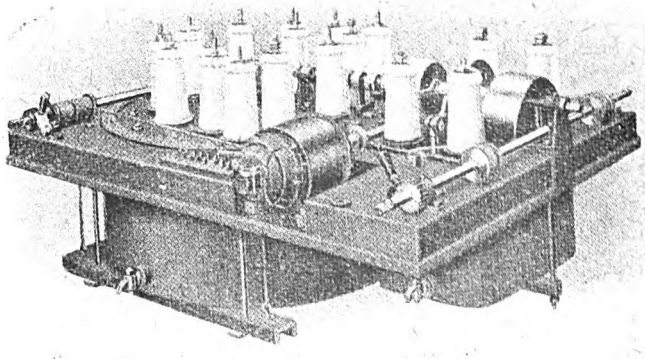


Fig. 2. — Commutateur de prises pour transformateur de four avec dispositif de coupure séparé 10.000 V, 200 A.

nœuvre depuis l'extérieur de l'appareil. La fig. 2 montre la vue de l'appareil enfermé dans sa cuve à huile, ainsi que la disposition de la commande électrique à distance.

Bien que les appareils de ce type aient fonctionné d'une façon sa-

Digitized by Google

tisfaisante pendant de nombreuses années, *lorsqu'on a voulu appliquer ce principe* de réglage *aux réseaux de distribution, on a jugé préférable d'étudier des appareils mieux appropriés aux nouvelles conditions à remplir* tout en évitant certains légers inconvénients que l'usage avait fait apparaître sur les commutateurs de prises, pour réglage des transformateurs de fours. On pouvait en particulier reprocher aux appareils exécutés selon la fig. 1 et la fig. 2 la complication des connexions et l'encombrement considérable provenant de la disposition circulaire des isolateurs. La disposition des frotteurs et des contacts fixes rendait également assez difficile la réalisation d'un bon contact entre les parties fixes et mobiles. C'est pourquoi, après de longs essais, ASEA a mis au point deux types de commutateurs de prises utilisables jusqu'à des tensions de 33 000 et 77 000 V respectivement et dont nous donnons ci-après une rapide description.

Commutateurs de prises types 33 000 V.

La fig. 3 représente le *schéma des connexions d'un commutateur de prises du type* 33 000 V à 5 positions relié à un auto-transformateur

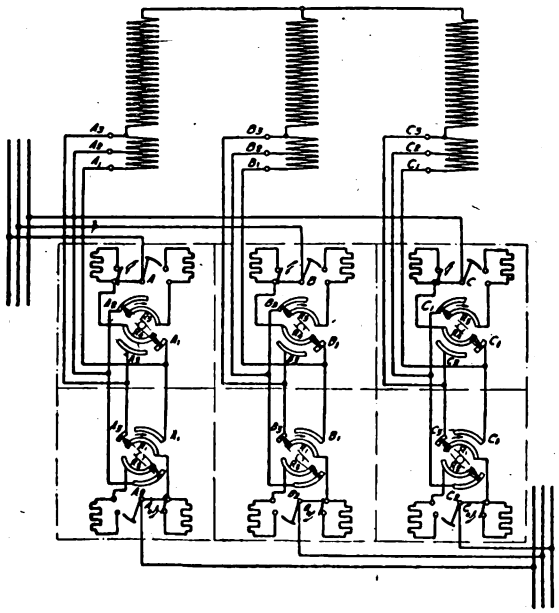


Fig. 3. — Schéma de connexion d'un commutateur de prises et d'un auto-transformateur pour réglage en plus et en moins avec 5 positions (4 intervalles de réglage).

de réglage avec trois sorties par phase. Le commutateur comporte deux éléments identiques par phase, l'un connecté à la ligne d'arrivée et l'autre à la ligne de départ. Chaque élément comprend un inver-

Digitized by Google

seur sans coupure et un commutateur à contacts glissants constitué par un bras mobile isolant portant à chacune de ses extrémités des balais feuilletés qui permettent de relier entre eux les différents secteurs concentriques représentés sur le schéma. Les 6 inverseurs et les 6 commutateurs sont commandés par un arbre commun de telle façon que des mouvements identiques se produisent simultanément sur les trois phases à l'aide d'une commande unique. Il suffit donc d'examiner comment s'effectue le réglage sur la phase A par exemple. Dans la position de la figure l'arrivée A_0 est connectée à la prise A_3 de l'auto-transformateur par l'intermédiaire de l'inverseur inférieur A_0 et du secteur R_1. Le départ A est relié à la prise A_1 par l'inverseur supérieur et le secteur R_4. L'auto-transformateur fonctionne en élévateur à son rapport maximum.

Premier pas de réglage.

L'inverseur inférieur est manœuvré ce qui change les connexions de la ligne d'arrivée en la connectant à la prise A_2 par l'intermédiaire du secteur R_2. Ce changement se fait sans coupure, puisque dans la position intermédiaire les deux prises A_3 et A_2 se trouvent réunies à travers l'inverseur par les résistances intercalaires. Pendant la fin de la manœuvre, les contacts glissants se déplacent dans le sens de la flèche de façon à ce que le secteur R_1 se trouve connecté en A_1 au lieu d'être connecté en A_3. Comme à ce moment le courant passe dans les secteurs R_2A_2, les contacts glissants n'ont à couper aucun courant. Après ce premier réglage l'auto-transformateur fonctionne en élévateur avec arrivée en $A_2B_2C_2$ et départ en $A_3B_3C_3$.

Deuxième pas de réglage.

Une manœuvre analogue à la précédente s'effectue sur l'élément supérieur du commutateur. L'inverseur est manœuvré transportant le départ de A_1 à A_2 et les contacts glissants se déplacent ensuite sans couper aucun courant de façon à connecter R_1 à A_3. Après cette deuxième manœuvre, l'auto-transformateur fonctionne au rapport 1, avec arrivée et départ en $A_2B_2C_2$.

Troisième pas de réglage.

L'inverseur inférieur est ramené dans sa position primitive, mais par suite du mouvement des contacts glissants à la fin du premier pas de réglage, l'arrivée n'est pas ramenée en A_3, mais au contraire se trouve connectée en A_1. L'auto-transformateur fonctionne en abaisseur avec arrivée en $A_1B_1C_1$ et départ en $A_2B_2C_2$.

Quatrième pas de réglage.

L'inverseur supérieur est ramené dans sa position primitive et pour

Digitized by Google

la même raison que ci-dessus; le départ n'est pas ramené en A_1 mais bien en A_3 et l'auto-transformateur fonctionne alors en abaisseur avec rapport de transformation maximum.

En manœuvrant l'arbre de commande en sens inverse, toutes les opérations contraires s'effectuent et on peut ramener le commutateur de prises dans la position de départ en 4 pas de réglage. *On a* donc bien 5 *positions en* 4 *intervalles de réglage avec* 3 *sorties sur chaque phase de l'auto-transformateur.*

On voit que *toutes les coupures se font sur les inverseurs* étudiés et dimensionnés en conséquence, *les contacts glissants n'ayant* comme rôle que de préparer les connexions pour la manœuvre ultérieure des inverseurs et n'ayant *jamais à fermer ou à couper le courant de travail.*

Ce type de *commutateur de prises se fait également avec* 9 *positions en* 8 *intervalles de réglage,* l'auto-transformateur étant alors exécuté avec 5 sorties par phase. Le fonctionnement est exactement le même, le nombre de secteurs de contact étant simplement augmenté en conséquence.

Ces *commutateurs de prises* 33 000 *V* se construisent pour des *intensités normales de* 200 *et* 350 *A*. Ils peuvent être utilisés de façons diverses suivant le schéma de connexion adopté et nous donnerons plus loin un certain nombre d'exemples de schémas de réglage.

Les inverseurs de coupure sont construits d'une façon extrêmement robuste avec pare-étincelles et les contacts glissants sont étudiés pour donner une pression et un contact parfaits de façon à supporter aisément le courant de pleine charge qui les traverse et à pouvoir résister aux efforts mécaniques des courts-circuits qui peuvent se produire sur le réseau.

La figure 4 représente un commutateur de prises triphasé à 9 positions de réglage du type que nous venons de décrire. L'appareil est constitué de 3 commutateurs monophasés séparés, montés sur un châssis commun et réunis par un arbre de commande unique. Tout l'appareillage est immergé dans l'huile.

On voit sur la figure les contacts glissants et les résistances intercalaires. Les inverseurs sont placés à l'arrière des tableaux des contacts glissants. L'ensemble est à la fois compact et facilement accessible pour la surveillance et l'entretien. L'arbre de commande muni de paliers à billes aux endroits nécessaires est exécuté de façon à réduire au minimum les frottements et les efforts mécaniques. Les isolateurs sont disposés en deux rangées, l'une pour les connexions à l'arrivée et au départ, l'autre pour les connexions aux prises du transformateur. Ces isolateurs sont disposés de façon à permettre la réa-

Digitized by Google

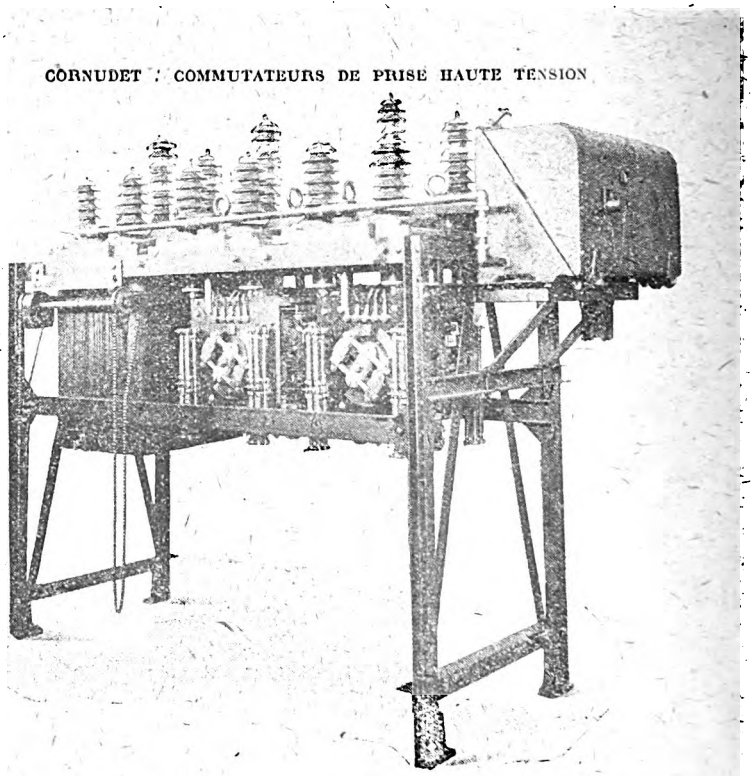


Fig. 4. — Commutateur de prises à 9 positions (8 intervalles de réglage) 10 000 V, 200 A, pour installation extérieure et commande à distance par moteur électrique.

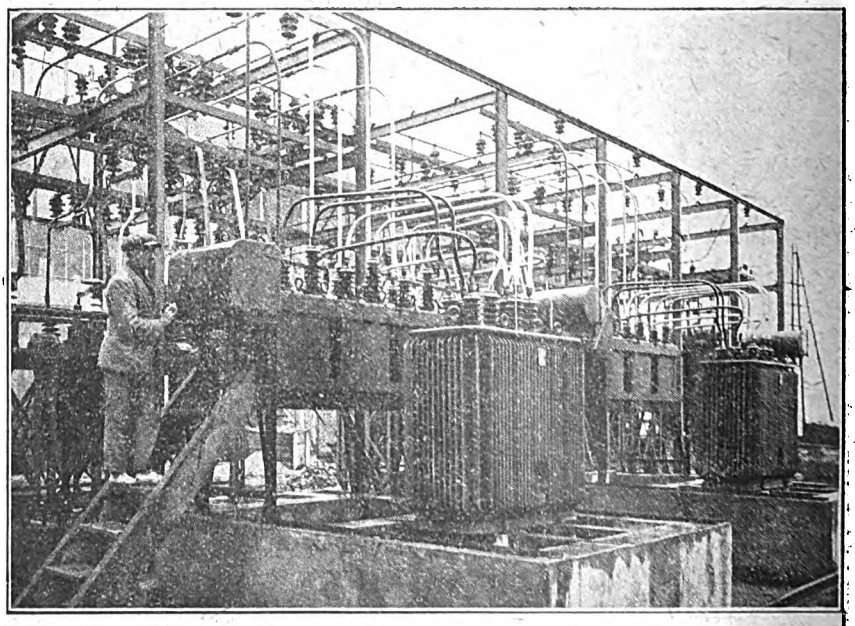


Fig. 5. — Groupes de réglage de tension par auto-transformateurs et commutateurs de prises A.S.E.A. pour manœuvré en charge : 3 500 kVA, 16 000 ± 990/16 000 V et 5 330 ± 330/5 330 V, 50 p : s, avec 5 positions de réglage installés au poste de Boulogne-sur-Mer.

Digitized by Google

lisation des connexions directement sans croisement et de la façon la plus simple, comme on le voit sur la fig. 5 qui représente des groupes de réglage comprenant des commutateurs de prises reliés à des auto-transformateurs.

Les appareils fig. 4 et 5 sont exécutés *pour installation extérieure* avec *coffret étanche en fonte placé sur le côté du commutateur de prises et comportant tous les accessoires de commande électrique à distance*, moteur, relais, appareillage, etc., comme nous l'indiquons ci-après.

Différents modes de commande.

Les commutateurs de prises que nous venons de décrire peuvent être *commandés directement à la main*, l'arbre commun étant alors muni d'une manivelle, d'un volant ou d'une roue dentée; dans le cas d'appareils de grande hauteur, la commande se fait à la base du commutateur par l'intermédiaire d'un arbre vertical et d'un engrenage conique. *Aucune chaîne n'est utilisée* car les chaînes tendent à s'allonger et sont une source possible d'accidents. Un indicateur mécanique montre par des numéros la position de réglage sur laquelle se trouve l'appareil.

Pour la *commande électrique à distance* l'arbre de manœuvre est attaqué par un petit moteur électrique commandé à distance par bouton-poussoir et relais à double direction permettant le démarrage dans un sens ou dans l'autre. Lorsque le moteur a démarré un *relais auxiliaire verrouille la manœuvre* de telle sorte que le mouvement de réglage s'achève quelle que soit l'action ultérieure sur les boutons-poussoirs. *Après un* pas de *réglage l'appareil s'arrête même si l'on n'a pas lâché le bouton-poussoir de commande*; il faut pour pouvoir procéder à un nouveau réglage lâcher le bouton et l'actionner à nouveau. Ce dispositif permet d'éviter les fausses manœuvres par un personnel inexpérimenté. Des *interrupteurs de fin de course* évitent tout blocage du moteur de commande, lorsque l'appareil a atteint ses positions extrêmes. Des *interrupteurs auxiliaires* reliés à un *indicateur de position* placé sur le tableau de manœuvre permettent de contrôler à distance la position de réglage de l'appareil. Un contact auxiliaire permet l'alimentation d'une *sonnerie d'alarme* qui fonctionne tant que le commutateur se trouve entre deux positions de réglage, avertissant immédiatement le personnel si par accident l'appareil n'achève pas le mouvement commencé. Des *relais thermiques* peuvent également être placés dans les cuves de façon à provoquer le déclenchement du disjoncteur de protection en cas d'échauffement anormal de l'huile.

Digitized by Google

Comme nous l'avons vu, les figures 4 et 5 représentent des commutateurs de prises pour commande électrique à distance par moteur électrique.

On peut ajouter à la commande électrique à distance un dispositif de *commande entièrement automatique*, le moteur étant alors contrôlé par un *relais voltmétrique* ASEA à double contacts et grande sensibilité, qui met le moteur de manœuvre en marche dans un sens ou dans l'autre, suivant que la tension s'élève ou s'abaisse au-dessus ou au-dessous de la valeur de réglage. On peut également ajouter au relais voltmétrique un *dispositif de compensation* par transformateur d'intensité, alimentant une impédance équivalente à l'impédance de la ligne, de façon à effectuer un réglage à tension constante non pas au point d'installation lui-même, mais à une certaine distance en aval sur la ligne de départ.

Commutateurs de prises type 77 000 V.

Le commutateur de prises 77 000 V construit par ASEA est établi sur un *principe mécanique différent du type* 33 000 *V*, ce qui a permis de réaliser des appareils d'un encombrement réduit et d'une grande sim-

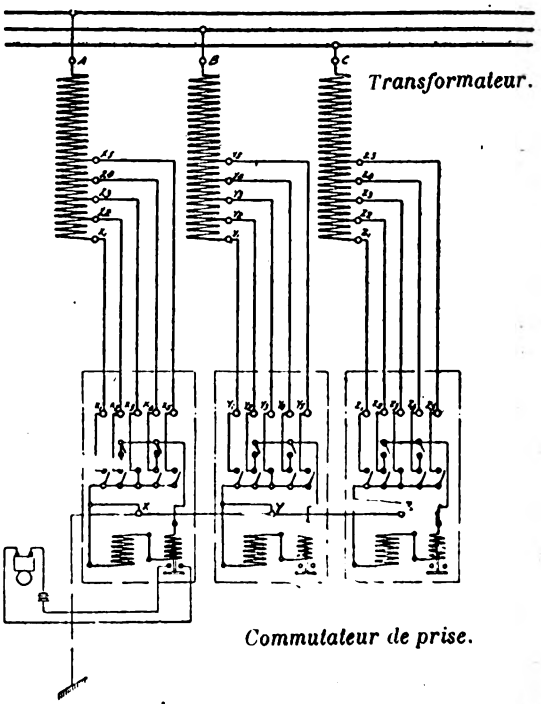


Fig. 6. — Schéma de connexion d'un commutateur de prises haute tension pour réglage sur le point neutre d'un transformateur de puissance.

Digitized by Google

plicité mécanique, tout en conservant un coefficient de sécurité très élevé malgré les hautes tensions en jeu.

Le *schéma de principe* est donné par la figure 6, qui représente un appareil à cinq positions de réglage placé sur le point neutre d'un transformateur. On voit que chaque phase du commutateur comporte des interrupteurs principaux reliés à chacune des prises du transformateur et deux interrupteurs auxiliaires. Comme dans le cas des commutateurs type 33 000 V toutes les manœuvres sont effectuées par un arbre unique simultanément sur les trois phases.

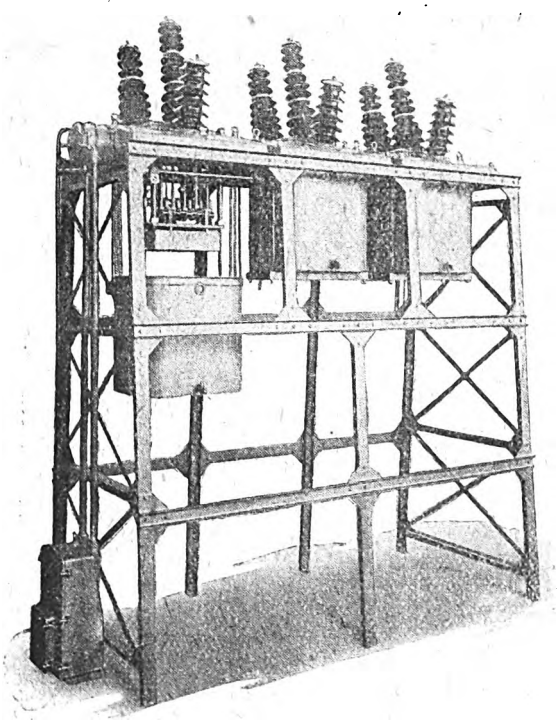


Fig. 7. — Commutateur de prises pour installation extérieure, tension de service 66 000 Volts et 5 positions (4 intervalles de réglage).

Sur le schéma de la figure 6, les interrupteurs $x_3 y_3 z_3$ forment le point neutre sur la prise moyenne. Si on veut passer de la prise x_3 à la prise x_2 (et simultanément des prises y_3 à y_2 et z_3 à z_2) on ferme les interrupteurs auxiliaires de gauche de chaque élément, puis on ouvre les interrupteurs $x_3 y_3 z_3$. Le point neutre se trouve alors formé sur les prises $x_2 y_2 z_2$, par l'intermédiaire des résistances de passage et des relais de signalisation qui actionnent la sonnerie d'alarme. Pour achever le réglage, il suffit de fermer les interrupteurs $x_2 y_2 z_2$ et d'ouvrir les interrupteurs auxiliaires. Le point neutre est alors formé sur les

Digitized by Google

prises 2 et le passage d'une prise à l'autre s'est effectué sans coupure du courant et sans court-circuit entre les prises du transformateur. Pour passer de $x_2y_2z_2$ à $x_1y_1z_1$, on ferme à nouveau les mêmes interrupteurs auxiliaires, on ouvre les interrupteurs $x_2y_2z_2$, on ferme $x_1y_1z_1$ et enfin on ouvre les interrupteurs auxiliaires.

Le passage aux prises 4 et 5 se fait exactement de la même façon,

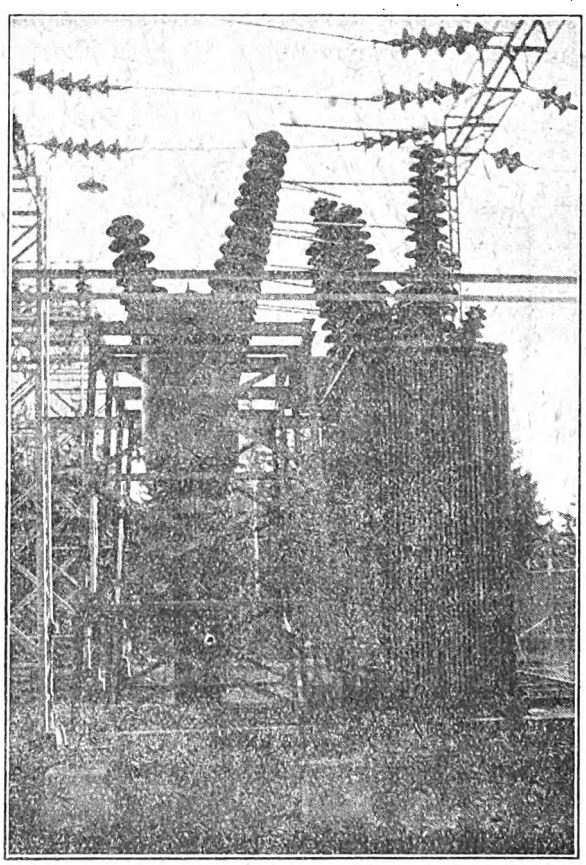


Fig. 8. — Transformateur de puissance avec commutateur de prises pour installation extérieure et tension de service de 55 000 Volts.

mais en opérant alors avec les interrupteurs auxiliaires de droite du schéma.

Ces *commutateurs* de prises *type* 77 000 *V* se font pour 5 *positions de réglage* et pour une *intensité normale de* 200 *A*. Les interrupteurs sont construits d'une façon analogue aux contacteurs avec doigts de contact roulants et glissants ce qui assure une surface de contact parfaite.

Digitized by Google

La figure 7 montre un commutateur de prises de ce type. Les contacts sont montés sur un panneau fixé au couvercle supérieur par des tiges isolantes; sous le panneau sont placées les résistances; les contacts mobiles sont commandés par des bielles isolantes reliées à des leviers soulevés et abaissés par des excentriques portés par l'arbre horizontal commun de manœuvre. Les isolateurs sont disposés comme pour le type 33 000 V de façon à réaliser des connexions directes entre le commutateur et le transformateur comme l'indique la figure 8. Le commutateur est en général surélevé pour que ses bornes arrivent au niveau des bornes du transformateur; la commande se fait alors à la base de l'appareil par un arbre intermédiaire vertical.

Comme pour le type 33 000 V, ces commutateurs de prises peuvent être construits pour installation intérieure ou extérieure et avec commande à la main, par moteur électrique et bouton-poussoir, ou entièrement automatique par relais voltmétrique simple ou compensé.

Principaux schémas de connexion pour réglage de la tension par transformateurs et auto-transformateurs a prises multiples.

La description du fonctionnement des commutateurs de prises avec auto-transformateur et transformateurs à prises multiples donnée plus haut, permettra de comprendre aisément comment ces appareils s'appliquent aux différents schémas de connexion ci-après qui peuvent être considérés comme les plus usuels.

Réglage par prises multiples sur les transformateurs de puissance.

La figure 9 montre les connexions entre un commutateur et un transformateur avec prises à la sortie des enroulements. Cette disposition réduit au minimum le nombre des isolateurs et dans le cas de la figure 9, il faut 5 sorties par phase pour 5 positions de réglage.

La figure 10 correspond au réglage par prises du côté du point neutre. On voit dans ce cas, qu'il faut 6 sorties par phase au lieu de 5 comme dans le cas précédent. Par contre, la différence de potentiel maximum entre les différentes parties sous-tension du commutateur de prises est seulement égale à l'amplitude du réglage et par conséquent le dispositif de réglage peut être établi avec un coefficient de sécurité très élevé.

La figure 11 représente un schéma de réglage par commutateur de prises connecté au milieu des enroulements. Le nombre des sorties par phase est encore plus élevé que dans le cas précédent, mais cette disposition permet de mettre hors service une grande proportion de l'enroulement sans augmenter la dissymétrie, les pertes ni la réactance aux différents rapports de transformation. Le réglage par prises

Digitized by Google

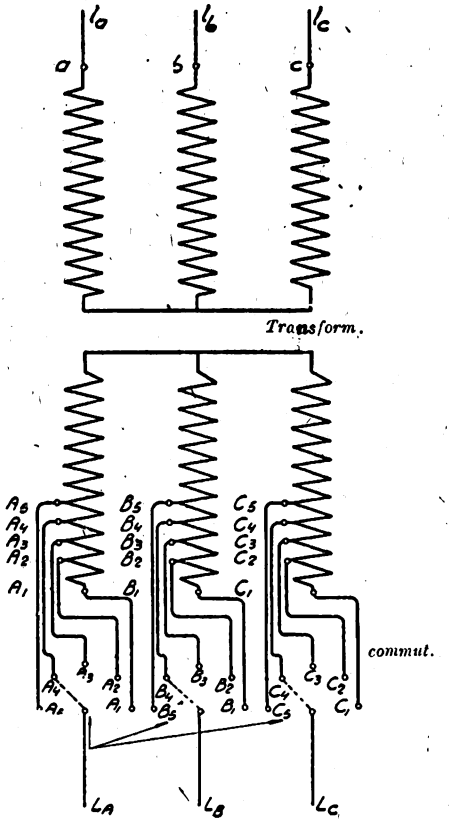


Fig. 9. — Schéma pour réglage de la tension sur transformateur de puissance avec prises de réglage du côté des sorties de l'enroulement.

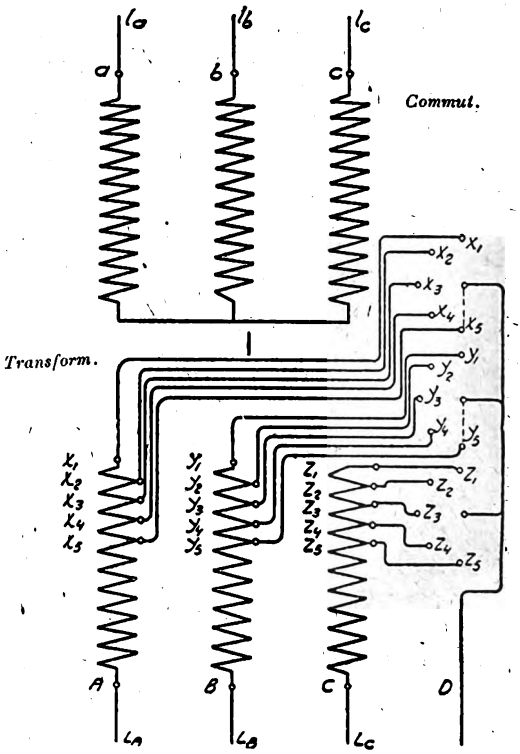


Fig. 10. — Schéma pour réglage de la tension sur transformateur de puissance avec prises de réglage du côté du point neutre.

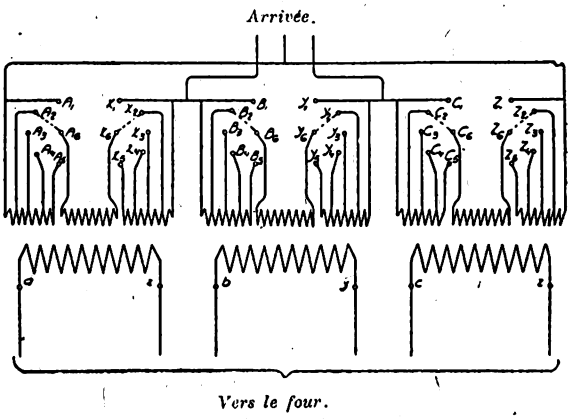


Fig. 11. — Schéma de réglage par commutateur de prises pour transformateur de four électrique, permettant une grande marge de réglage.

Digitized by Google

au milieu des enroulements est particulièrement recommandable pour les transformateurs de fours électriques qui demandent en général une variation de tension très importante. Le schéma de la figure 11, permet de disposer de 9 positions de réglage et par conséquent de 9 tensions différentes.

Réglage par auto-transformateur à prises multiples.

Il y a une grande variété de combinaisons possibles dont nous donnons quelques exemples.

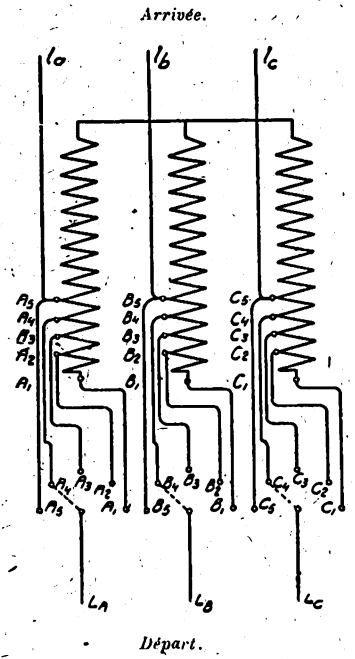


Fig. 12. — Schéma pour réglage de la tension sur auto-transformateur de réglage.

Le schéma de la figure 12 s'applique particulièrement au cas où l'on dispose d'une arrivée à tension constante et où l'on veut pouvoir augmenter graduellement la tension du départ. L'arrivée à tension constante est connectée d'une façon permanente aux prises $A_5B_5C_5$ et la ligne de départ LA LB LC est successivement connectée par l'intermédiaire du commutateur de prises aux bornes 5 — 4, etc., 1 donnant des tensions au départ de plus en plus élevées.

Si l'on dispose, au contraire, d'une arrivée à tension variable et que l'on veut obtenir un départ à tension fixe, il est préférable de

Digitized by Google

connecter l'arrivée en LA LB LC et le départ en l_a l_b l_c . Dans ces conditions, le transformateur travaille à induction sensiblement constante et par conséquent ses matières actives sont utilisées au maximum.

Il est donc, en général, avantageux d'admettre comme règle, que l'on connectera la ligne à tension fixe à une prise fixe et la ligne à tension variable aux différentes prises de réglage par l'intermédiaire du commutateur de prise. Bien entendu, on peut connecter la ligne à tension fixe à l'une quelconque des prises de réglage, de façon à obtenir la variation de tension en plus ou en moins de la tension fixe ou alternativement en plus et en moins de cette tension.

Avec un auto-transformateur construit exactement comme dans le cas de la figure 12, mais en utilisant un commutateur de prises à deux éléments par phase, l'un pour l'arrivée, l'autre pour le départ, on

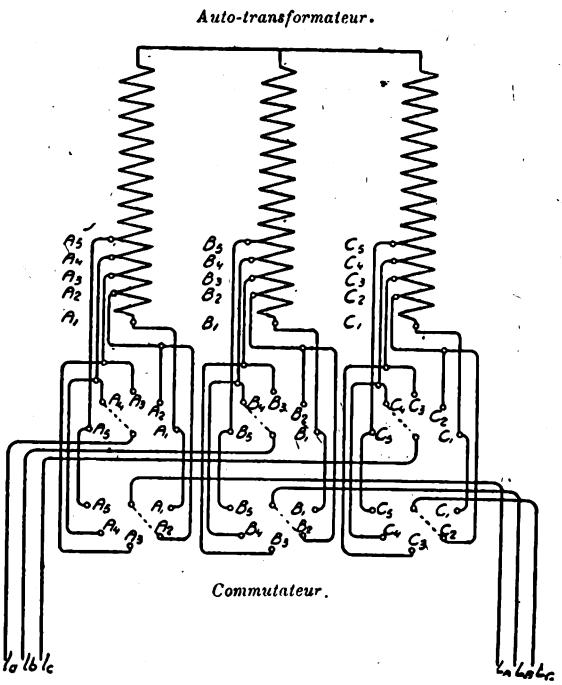


Fig. 13. — Schéma pour réglage en plus et en moins de la tension d'alimentation, par auto-transformateur et commutateur de prises.

obtient le schéma de la figure 13 qui n'est autre d'ailleurs que celui de la figure 3 que nous avons étudié en détail précédemment. On obtient de la sorte 9 positions de réglage avec 5 sorties par phase sur l'auto-transformateur. Ce schéma présente l'avantage de permettre un

Digitized by Google

grand nombre de positions avec un nombre réduit d'isolateurs de traversée.

Le réglage à vide est obtenu par quantités égales en plus et en moins de la tension d'alimentation supposée fixe. Le réglage en charge est légèrement différent, la chute de tension se retranchant du réglage lorsque le dispositif fonctionne en élévateur et s'y ajoutant lorsque le dispositif fonctionne en abaisseur. L'écart est cependant assez réduit, étant données les faibles chutes de tension des auto-transformateurs.

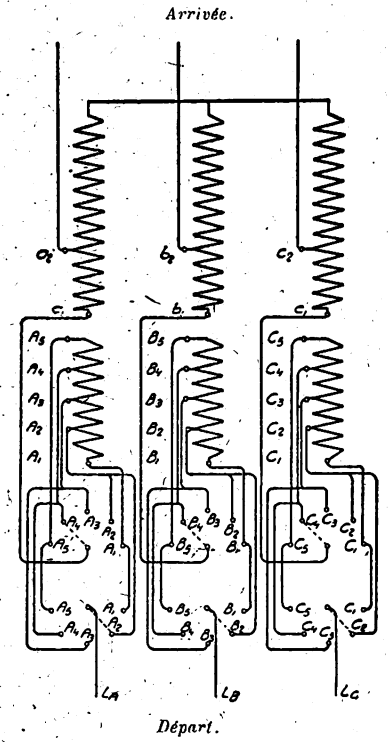


Fig. 14. — Schéma pour réglage en plus et en moins d'une tension différente de la tension d'alimentation, par auto-transformateur et commutateur de prises.

En utilisant le schéma de la figure 14, qui est une modification du précédent, on obtient un déplacement de la tension moyenne en prévoyant dans l'auto-transformateur un réglage fixe et un réglage variable survolteur-dévolteur. On peut ainsi obtenir un réglage en plus et en moins par quantités égales autour d'une valeur de la tension différente de celle de la tension d'alimentation. La possibilité de donner à l'enroulement de réglage fixe la valeur que l'on désire, permet de

Digitized by Google

réaliser un grand nombre de combinaisons de réglage par rapport à la tension d'alimentation du groupe.

Le schéma de la figure 15 permet d'accroître encore les possibilités du précédent. Si l'inverseur est fermé de façon à connecter l'arrivée en $a_1 b_1 c_1$, le réglage se fait en plus et en moins de la tension d'alimentation. Si, au contraire, l'inverseur connecte l'arrivée en $a_2 b_2 c_2$, le

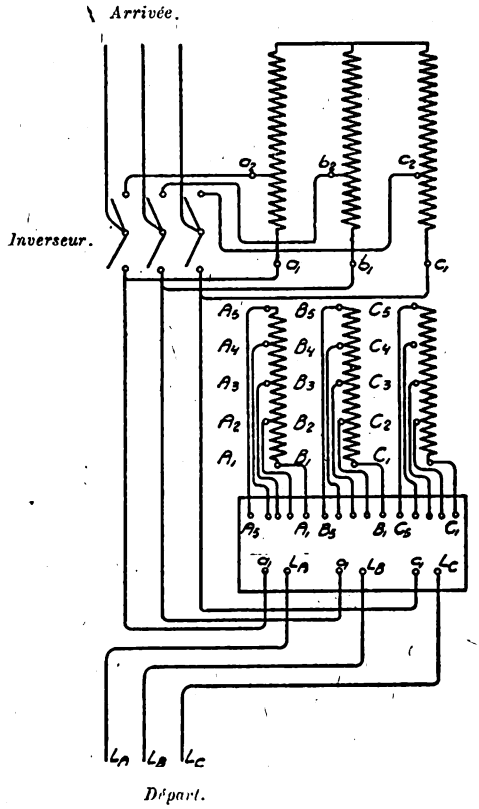


Fig. 15. — Schéma pour réglage par auto-transformateur et commutateur de prises avec inverseur donnant 2 séries de positions de réglage différentes.

réglage se fait en plus et en moins d'une tension supérieure à la tension d'alimentation. On dispose donc dans le cas du schéma de la figure 15, de deux séries différentes de 9 positions de réglage chacune et il peut même être possible de passer en charge d'une série à l'autre si on prévoit l'inverseur avec résistance intercalaire. Ce dispositif peut être utilisé, en particulier, lorsque des échelles de réglage différentes sont nécessaires selon les époques de l'année ou les différents moments de la journée.

Digitized by Google

Réglage par transformateur série et commutateur de prises.

Nous avons vu précédemment que les commutateurs de prises ASEA sont construits normalement pour des intensités de 200 et 350 ampères. Grâce au schéma de la figure 16, on peut utiliser des commutateurs de prises normaux, même dans le cas où l'intensité de la ligne

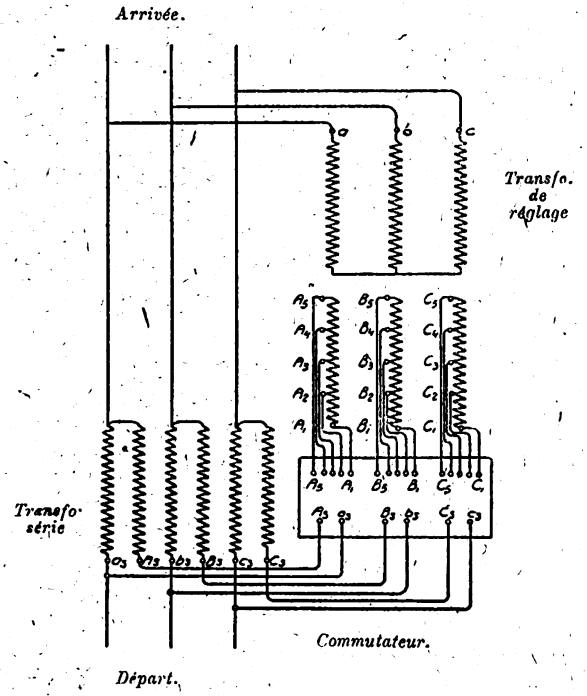


Fig. 16. — Schéma pour réglage par transformateur série, transformateur de réglage et commutateur de prises.

à régler est beaucoup plus élevée que les valeurs normales ci-dessus. Le dispositif de réglage est alors constitué par un transformateur série (connecté en auto-transformateur dans le cas de la fig. 16), dont l'un des enroulements est en série sur la ligne, l'autre enroulement étant alimenté par un transformateur de réglage par l'intermédiaire du commutateur de prises. Le transformateur de réglage possède un enroulement magnétisant connecté en dérivation sur la ligne et un enroulement de réglage, avec par exemple 5 prises, relié à un commutateur pour manœuvre en charge et pour réglage en plus et en moins. Par un choix judicieux de la tension de l'enroulement de réglage et du transformateur série, on peut réduire l'intensité dans le commutateur de prises à la valeur désirée. Quand le rapport entre l'intensité

Digitized by Google

en ligne et l'intensité admise pour le commutateur de prises est inférieur à 2, on utilise en général un transformateur série connecté en auto-transformateur selon la disposition représentée sur la figure 16. Si le rapport entre les intensités de la ligne et du commutateur est supérieur à 2, on doit employer un transformateur série avec enroulements séparés.

On peut également utiliser une disposition semblable à celle de la figure 16, mais avec transformateur série à enroulements séparés, lorsque la tension de la ligne est supérieure à la tension admissible pour le commutateur de prises. L'enroulement secondaire du transformateur de réglage et l'enroulement primaire du transformateur série, seuls reliés au commutateur, sont alors électriquement complètement indépendants de la ligne et peuvent être prévus avec la tension la plus favorable pour le commutateur de prises. Par exemple, dans le cas où l'installation doit s'effectuer sur une ligne à 100 000 volts, on peut au besoin, réduire à 10 000 volts la tension dans l'enroulement de réglage, le commutateur de prises et l'enroulement primaire magnétisant du transformateur série, ce qui, évidemment, donne à l'ensemble un coefficient de sécurité extrêmement élevé.

L'examen que nous venons de faire des principaux schémas de connexions utilisables avec les commutateurs de prises, montre l'extrême souplesse de ce mode de réglage qui peut s'adapter pratiquement à toutes les nécessités.

Comparaison entre les différents modes de réglage de la tension sur les réseaux de transport et de distribution.

En ce qui concerne les régulateurs d'induction, ces appareils sont connus et utilisés depuis longtemps et nous n'en décrirons pas le principe ni le fonctionnement.

On pourrait penser que leur emploi présente comme avantage, par rapport aux commutateurs de prises, de permettre un réglage continu de la tension. En réalité, cet avantage n'est cependant qu'apparent. Il est évidemment inexistant dans le cas de la commande à la main, mais même dans le cas de la commande automatique, la précision du réglage est limitée par la sensibilité des relais voltmétriques de commande qui ne peuvent guère être ajustés pour moins de 1 à 2 pour cent de la tension normale. De plus, pour obtenir un réglage rapide, le régulateur d'induction devrait suivre instantanément toutes les variations de la tension, ce qui n'est pas possible en raison de l'inertie des pièces à mettre en mouvement. Au point de vue précision et rapidité du réglage, on ne peut donc pas considérer que, pratiquement, les

Digitized by Google

régulateurs d'induction soient supérieurs aux commutateurs de prises.

Par contre, le prix des régulateurs d'induction est en général très élevé par rapport à celui des groupes de réglage par auto-transformateurs et commutateurs de prises. Leurs pertes à vide et leur courant magnétisant sont relativement considérables, alors qu'ils sont très réduits dans les auto-transformateurs.

De plus, on ne peut envisager la construction de régulateurs d'induction pour des tensions dépassant 5 000 à 6 000 volts et on doit alors employer des transformateurs intermédiaires, ce qui augmente considérablement le prix, l'encombrement, les pertes et le courant magnétisant du groupe de réglage. Nous avons vu, au contraire, que les commutateurs de prises ASEA sont construits normalement jusqu'à des tensions de 77 000 V.

Enfin, si l'on n'emploie pas des régulateurs d'induction doubles équilibrés, la tension additionnelle n'est en phase avec la tension de la ligne que pour les positions extrêmes du régulateur et quand la composante de la tension additionnelle en phase avec la ligne est nulle, la tension aux bornes du régulateur d'induction n'est pas nulle. Il en résulte que le régulateur d'induction ne peut pas être mis brusquement hors circuit pendant la marche en charge, mais seulement après avoir déconnecté la ligne.

Le seul avantage en faveur du régulateur d'induction est la possibilité de le placer dans n'importe quelle position, tandis que si le commutateur de prises s'arrête accidentellement entre deux plots, les résistances de passage risquent d'être détériorées. Nous avons vu, toutefois, que l'emploi d'une sonnerie d'alarme et de relais thermiques évite les conséquences fâcheuses d'un tel accident, d'ailleurs extrêmement peu probable, car il n'est à envisager qu'en cas de suppression accidentelle du courant de manœuvre au moment du passage d'un plot à l'autre, cas forcément très rare, puisque la durée d'un réglage n'excède pas 1 à 2 secondes.

On voit donc qu'au point de vue sécurité et précision du réglage, les commutateurs de prises sont au moins équivalents aux régulateurs d'induction et qu'ils présentent sur ceux-ci des avantages importants en ce qui concerne le prix et la facilité d'installation et d'exploitation, le rendement, la souplesse et la sécurité d'emploi.

En ce qui concerne la comparaison entre les commutateurs de prises et les condensateurs synchrones, il est certain que ces dernières machines peuvent être avantageuses lorsque l'on a simultanément à relever le facteur de puissance d'une installation et à diminuer la chute de tension en ligne, ces deux opérations pouvant se faire parfois simultanément par l'emploi des condensateurs synchrones.

Digitized by Google

Si, au contraire, il s'agit uniquement de régler la tension, l'emploi des condensateurs synchrones peut nécessiter la circulation dans les lignes de courants déwattés importants, ce qui introduit évidemment des pertes supplémentaires.

D'autre part, les condensateurs synchrones exigent une surveillance et un entretien réguliers et assujettissants, alors que la surveillance d'un commutateur de prises est réduite au minimum par une construction suffisamment robuste et en employant les dispositifs automatiques de sécurité et de signalisation nécessaires. Ne se prêtant pas au montage extérieur, les condensateurs synchrones exigent des frais importants de bâtiment. Enfin, leurs pertes sont beaucoup plus élevées que celles des auto-transformateurs et, tout comme les régulateurs d'induction, ils ne peuvent être utilisés directement sur des réseaux à tension élevée exigeant alors des transformateurs intermédiaires, ce qui augmente le prix, l'encombrement et les pertes.

En fait, l'installation des condensateurs synchrones se trouve plutôt indiquée dans le cas où l'on a intérêt à améliorer le facteur de puissance, ainsi que pour le réglage dans les points de liaison importants des réseaux, si les conditions permettent leur utilisation sans trop grandes dépenses ni difficultés pratiques. Dans tous les cas d'ailleurs, il est nécessaire d'examiner si l'emploi des commutateurs de prises ne permettrait pas une solution satisfaisante à des conditions de prix et de commodité d'exploitation plus favorables.

Conclusion.

Nous espérons que cette rapide étude aura permis de montrer que les commutateurs de prises pour manœuvre en charge combinés avec des transformateurs ou des auto-transformateurs à prises multiples apportent aux différents problèmes de réglage de la tension sur les réseaux de distribution, une solution pratique et économique à tous les points de vue et qui possède une remarquable souplesse d'adaptation aux diverses conditions à remplir.

Il ne faut pas oublier cependant, que pour éviter les risques d'incidents en exploitation, de tels appareils doivent être conçus et exécutés dans leurs plus petits détails avec une rare perfection.

L'expérience qu'ASEA a acquise depuis longtemps dans cette construction, a montré que ce n'est qu'à la suite de longs essais et de nombreuses modifications, nécessitées souvent par des questions de détail dont l'importance n'est apparue qu'à l'usage, qu'il est possible de mettre au point ce matériel spécial dans des conditions de sécurité et

Digitized by Google

de facilité de réglage permettant d'obtenir des résultats parfaits. Il n'est pas douteux que s'il est fait uniquement usage d'appareils construits d'une façon parfaite au point de vue mécanique et électrique, aussi bien dans leurs parties principales que dans leurs accessoires de manœuvre et de contrôle, l'emploi des commutateurs de prises ira se développant constamment, les besoins de réglage sur les réseaux de transport et de distribution leur assurant un large débouché. La faveur des distributeurs leur sera certainement acquise rapidement si on peut leur prouver par l'expérience qu'il est possible de réaliser des appareils donnant une sécurité supérieure à celle des dispositifs de réglage précédemment utilisés et à des conditions plus intéressantes au point de vue frais d'établissement et d'exploitation.

Digitized by Google

Digitized by Google

L'OSCILLOGRAPHE CATHODIQUE DUFOUR [1]

par M. GONDET

Ingénieur à la Maison Beaudouin.

L'Oscillographe cathodique Dufour n'est plus depuis quelques années un appareil de Laboratoire, d'un maniement compliqué, mais un véritable appareil industriel, d'un fonctionnement simple et d'un champ d'études extrêmement étendu.

Cet oscillographe qui utilise comme dispositif d'inscription un faisceau de rayons cathodiques permet de voir et d'enregistrer photographiquement des courbes de courant ou de tension périodiques ou non, dont la fréquence peut atteindre plusieurs centaines de millions par seconde.

L'oscillographe cathodique Dufour est un appareil bien connu dans son principe et dont on n'ignore pas la multiplicité d'applications qu'il est d'ailleurs seul, dans beaucoup de cas, à pouvoir réaliser, mais on le considère généralement comme un instrument de laboratoire d'un maniement difficile. C'est pourtant, depuis quelques années, un véritable appareil industriel, d'un fonctionnement simple et d'une utilisation pratique.

Il n'y a pas lieu de revenir sur la partie théorique du fonctionnement de l'appareil. Il suffit de rappeler que, dans cet oscillographe, le dispositif d'inscription est constitué par un faisceau de rayons cathodiques, dont l'inertie est pratiquement négligeable. Ce faisceau de rayons cathodiques est déviable soit par un champ magnétique, ce qui donne la possibilité d'inscrire des courbes de courant, soit par un champ électrique, ce qui permet l'inscription de courbes de tension. Ce faisceau cathodique peut impressionner soit un écran fluorescent, soit une plaque photographique placée dans le vide et la faible inertie des électrons constituant le faisceau donne la possibilité d'étudier des variations de phénomènes électriques, dont la durée peut être inférieure à un centième de millionième de seconde, que ce phénomène soit d'ailleurs périodique ou non.

L'ensemble de l'oscillographe cathodique comprend deux parties bien distinctes :

La partie oscillographique n'a subi que très peu de modifications depuis le modèle primitif.

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la S.F.E. du 7 janvier 1928.

Digitized by Google

L'appareil est représenté en vue par la figure 1 et en coupe par la figure 2.

Une cloche en bronze A, dans laquelle on fait le vide, est fermée

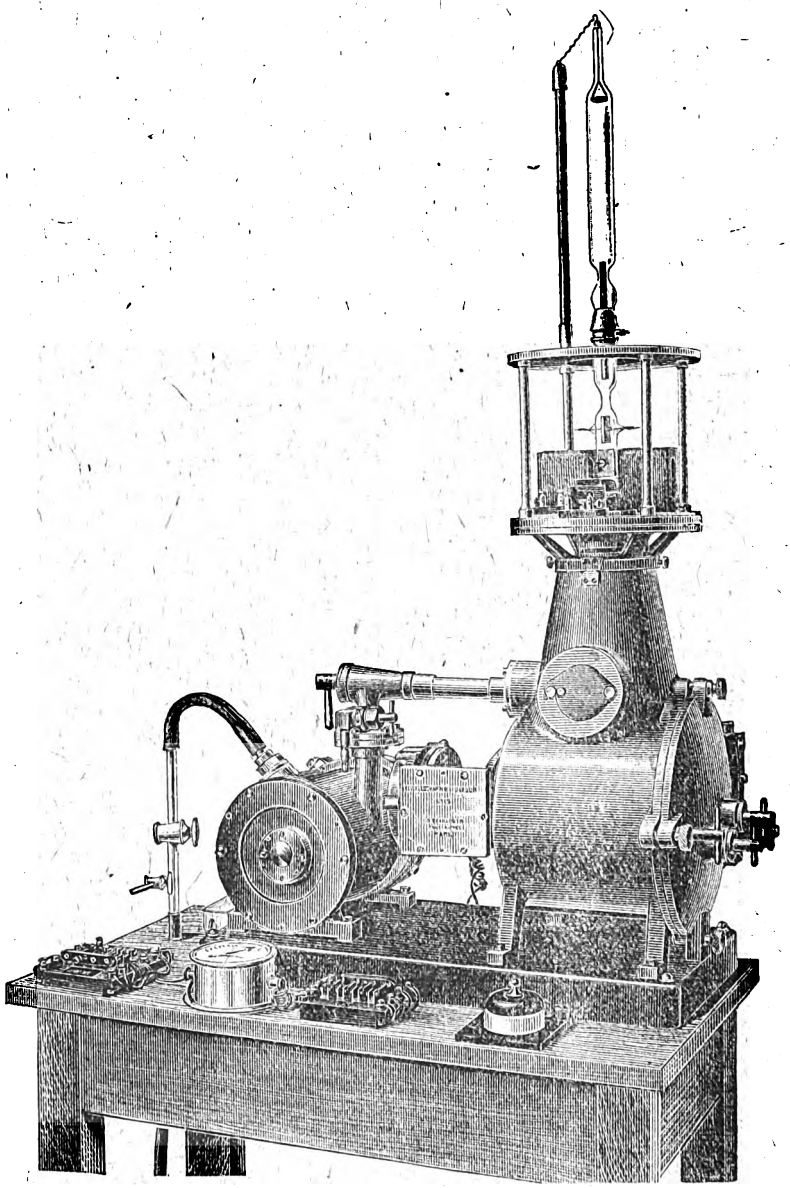


Fig. 1. — Oscillographe cathodique Dufour.

par une porte B et se trouve surmontée de deux tubes en verre : un tube déviateur C, dont la forme peut varier suivant l'enregistrement à étudier et un tube cathodique D. Celui-ci repose en E, sur une anode

Digitized by Google

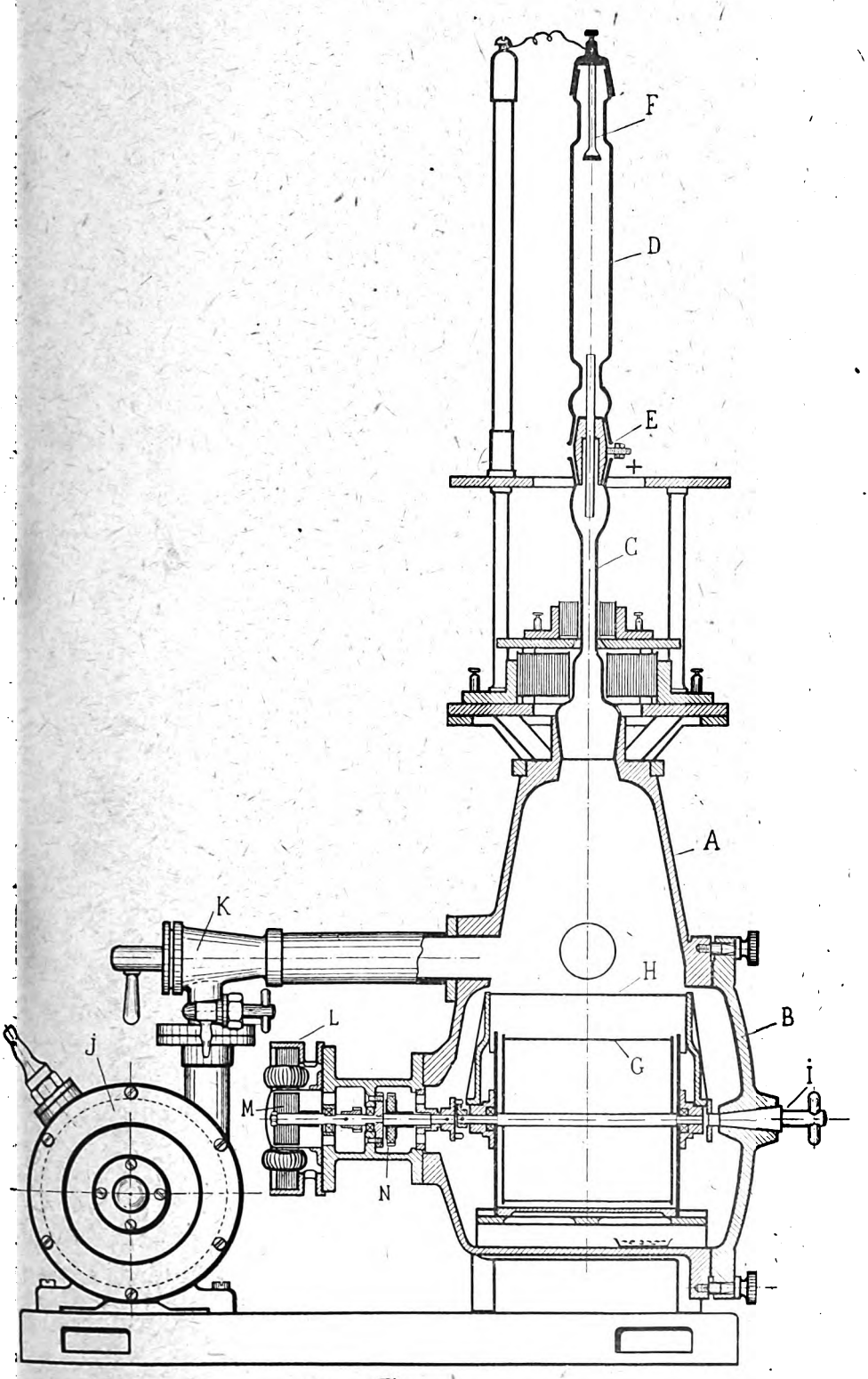


Fig. 2.

Digitized by Google

constituée par un tube en laiton, percé d'un trou d'aiguille et muni de deux rodages cônes, et porte une cathode F montée à l'extrémité du tube cathodique, tenue également par l'intermédiaire d'un rodage conique. L'ensemble de ces tubes peut se démonter très facilement et la cathode, notamment, peut être retouchée fréquemment, opération qu'il est indispensable d'effectuer sitôt que le plateau en aluminium constituant la cathode, présente en son centre une légère érosion.

Devant le tube déviateur, se trouvent placées les bobines de déviation magnétique et le tube peut, lui-même, recevoir des petits plateaux formant condensateur pour l'étude des courbes de tension par déviation électrostatique du faisceau d'électrons.

On peut introduire à l'intérieur de la cloche, soit un tambour rotatif G muni d'une pellicule photographique, soit un magasin contenant 6 plaques photographiques ; celles-ci peuvent être basculées de l'extérieur par l'intermédiaire d'une clé spéciale de façon à pouvoir les exposer successivement au faisceau de rayons cathodiques, sans qu'il soit nécessaire de refaire le vide à l'intérieur de la cloche.

Au-dessus du tambour rotatif et du magasin de plaques, se trouve un écran fluorescent H, visible à travers un regard fermé par une glace et qui permet le contrôle de la finesse de la tache cathodique et de l'amplitude des phénomènes à enregistrer. Cet écran est manœuvré de l'extérieur par une clé spéciale, de façon à démasquer la pellicule ou la plaque photographique au moment de l'enregistrement.

Ce tambour rotatif et ce magasin de plaques sont montés sur glissières. Ils peuvent très facilement être retirés de la cloche et portés en chambre noire pour y être chargés ou développés sans risque de voile pendant le transport. Une nacelle à anhydride phosphorique assure la dessiccation de l'appareil.

Le vide est obtenu, dans l'ensemble de la cloche, au moyen d'une pompe préparatoire à huile et d'une pompe moléculaire hélicoïdale J montée sur le même socle que la cloche, de façon à former un ensemble assez transportable, ne nécessitant pas l'obligation de refaire des joints sur le bon vide.

Un gros robinet K permet d'arrêter le vide lorsqu'il est arrivé au degré voulu.

Cette nécessité d'obtenir un bon vide à l'intérieur de la cloche paraissait être une difficulté et une cause d'ennui. Mais actuellement, l'obtention et le maintien du vide dans un appareil métallique démontable ne donne lieu à aucune complication, malgré la multiplicité des rodages.

Digitized by Google

L'utilisation d'un métal sain, une construction soignée des pièces mécaniques, l'emploi de rodages extrêmement simples sans joints plastiques inutiles, assurent à l'appareil une étanchéité absolue.

La question du vide n'est donc pas une difficulté. De même, la question temps nécessaire pour l'obtenir, n'est pas non plus un obstacle, puisqu'il ne faut pas plus de 15 minutes, l'appareil venant d'être fermé, pour obtenir le vide nécessaire à son fonctionnement et généralement ce temps est largement dépassé par celui demandé pour le montage des connexions électriques à réaliser pour l'enregistrement.

Les dispositifs de commandes électriques constituent la deuxième partie de l'appareil. Primitivement, ceux-ci étaient un peu compliqués, bien que répondant parfaitement au but à atteindre, du fait de l'emploi de différents contacts à réarmement. Il était nécessaire, pour étudier ou enregistrer un phénomène quelconque, d'armer plusieurs interrupteurs, de produire l'enregistrement, d'arrêter les dispositifs d'entraînement et de recommencer les mêmes manœuvres pour un deuxième examen. Il était difficile, dans ces conditions, de suivre à l'examen visuel sur l'écran des variations déterminées d'un phénomène et de plus, on perdait pendant un certain temps le contrôle de la finesse de la tache cathodique au moment de l'enregistrement.

En collaboration avec M. Fallou, Ingénieur chargé du Service technique électrique à l'Union d'Electricité, un dispositif de contacteurs à contacts glissants a été réalisé de façon à pouvoir reproduire le phénomène à enregistrer autant de fois qu'on le désire à la cadence de une fois par seconde.

La seule manœuvre à exécuter pour faire un enregistrement photographique consiste, une fois les réglages d'amplitude terminés, à abaisser un seul interrupteur. Le tube cathodique fonctionne alors toutes les secondes pendant une fraction de seconde réglable à volonté. La trace du faisceau cathodique est visible sur l'écran fluorescent une seconde avant l'enregistrement. On peut contrôler jusqu'au dernier moment la finesse du tracé, et l'amplitude des courbes ; dans ces conditions, il est pratiquement impossible d'obtenir un enregistrement photographique défectueux.

Les différents dispositifs de commande des circuits de fonctionnement de l'oscillographe sont réalisés par l'intermédiaire d'un moteur synchrone, commandant les disques munis de contacts glissants, constituant le « *Rupteur synchrone à contacts glissants* » (fig. 3).

Ce dispositif unique de commandes peut être utilisé de deux façons différentes suivant que l'on veut enregistrer des courbes de tension ou

Digitized by Google

de courant de haute fréquence supérieure à quelques centaines de mille par seconde et pouvant atteindre plusieurs centaines de millions avec utilisation du magasin de plaques, ou suivant que l'on veut enregistrer des courbes de basse ou moyenne fréquence ne dépassant pas quelques centaines de mille par seconde avec utilisation du tambour rotatif.

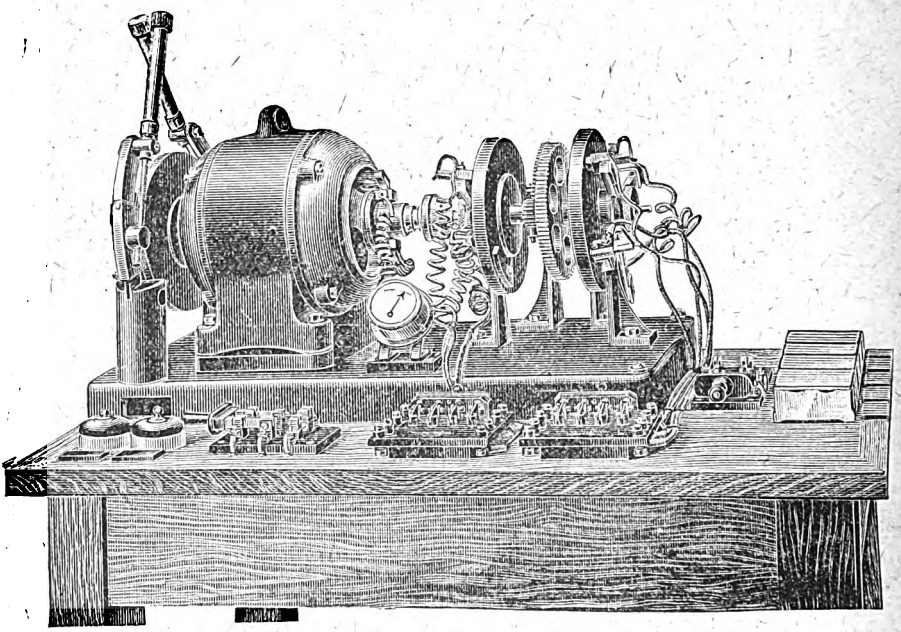


Fig. 3. — Rupteur synchrone à contacts glissants.

Enregistrements en haute fréquence.

Dans le cas de haute fréquence, il est inutile de songer à déplacer une plaque photographique ou un film à grande vitesse devant le faisceau de rayons cathodiques. Un déplacement de la tache de 1 mm pour 1/10e de millionième de seconde conduit par exemple à des vitesses linéaires de 10 km par seconde et les vitesses qu'on peut communiquer à un système matériel ne sont toujours qu'une faible fraction de cette valeur. On laisse donc la plaque photographique fixe et c'est le faisceau cathodique que l'on fait déplacer à grande vitesse devant la plaque.

Le schéma général du montage utilisé est représenté figure 4.

L'allumage du tube cathodique dont la durée peut être très courte, est provoqué par une demi-période du courant alternatif du secteur

Digitized by Google

rendant la cathode négative, et le balayage du faisceau de rayons cathodiques est également produit par l'envoi d'une période du courant alternatif dans les bobines de balayage, et on s'arrange à décaler d'aussi près que possible de 90° ce courant de balayage, au moyen de selfs convenables par rapport au courant d'alimentation du tube cathodique.

Dans ces conditions, les deux courbes se présentent sous la forme

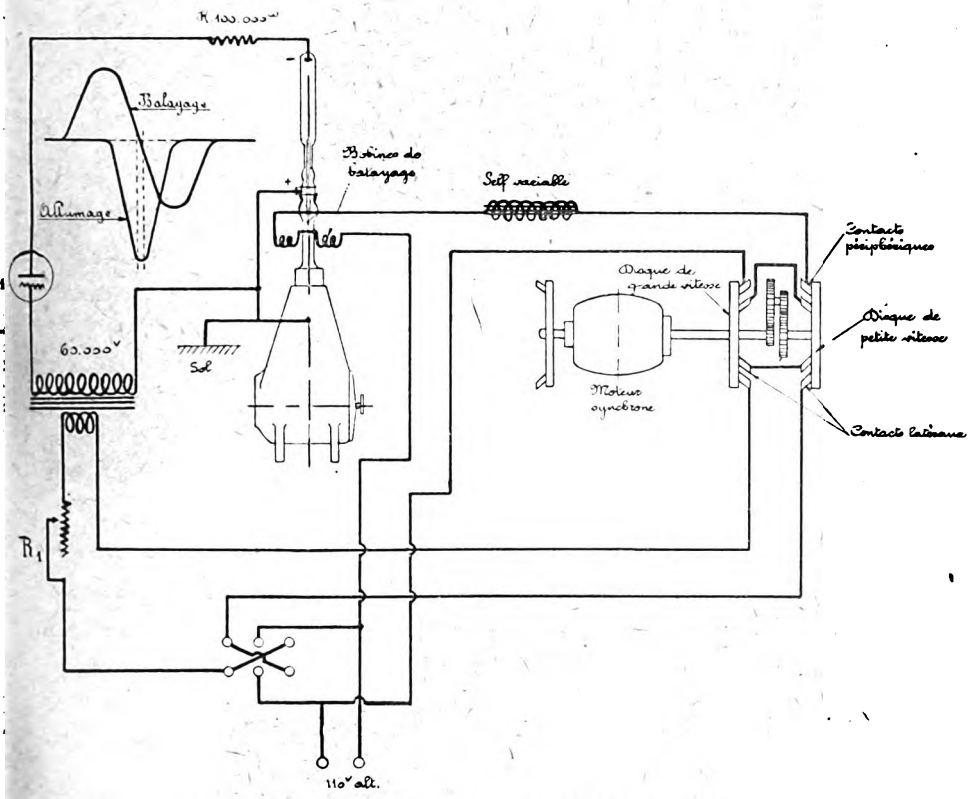


Fig. 4. — Schéma de principe haute fréquence.

représentée sur la figure 4, le courant de balayage passant par zéro sensiblement au moment où le courant d'allumage est maximum. A ce moment, la tache cathodique est au centre de l'écran ou de la plaque photographique, mais elle venait d'un bord de la plaque pour passer sur l'autre bord en un temps très court, variable en moyenne de 1/2 000e à 1/20 000e de seconde et réglable à volonté en agissant sur l'intensité maxima du courant de balayage.

Mécaniquement, le rupteur synchrone est constitué par un moteur synchrone entraînant deux disques isolants munis de contacts. L'un

Digitized by Google

de ces disques est calé directement sur l'arbre du moteur et porte deux secteurs de longueur telle que l'on puisse prendre sur l'un, une demi-période pour l'allumage du tube et sur l'autre, une période entière pour le balayage. Devant ces disques, se trouvent des contacts réglables à volonté, de façon à pouvoir établir et couper ces courants à leur passage par 0.

Disposé ainsi, le rupteur allumerait le tube à chaque tour du disque, soit 25 fois par seconde si le moteur synchrone est à 4 pôles et alimenté par du 50 périodes. Pour provoquer facilement l'allumage du tube et son balayage à un moment bien déterminé, un deuxième disque est placé derrière le premier et tourne grâce à un jeu de pignons, à une vitesse 25 fois plus petite, soit 1 tour par seconde seulement.

Ce disque porte également des secteurs et des balais de calage variable, formant des contacts placés en série avec les contacts du disque de grande vitesse, de façon à produire l'allumage et le balayage du tube une fois seulement par seconde, ce qui devient facile à commander au moyen d'un manipulateur quelconque placé dans le circuit d'alimentation du tube.

Les contacts étant glissants et ne demandant pas de réarmement, le phénomène peut être reproduit sans manœuvre spéciale, autant de fois qu'on le désire.

Reste la localisation dans la plaque du phénomène à analyser.

Si le phénomène à analyser est périodique, il n'y a aucune difficulté pour son enregistrement.

S'il est discontinu, le problème est plus compliqué et même souvent insoluble jusqu'ici (enregistrement de la foudre par exemple) ; et il faudrait agir en utilisant la courbe de balayage elle-même, lors de son passage au zéro, agissant sur des relais thermoioniques. C'est un problème à étudier, suivant chaque cas particulier.

Le moteur synchrone stroboscopé avec une lampe au néon alimentée également par le secteur, accuse un pompage de 2° au maximum, ce qui correspond à environ 1/5 000^{e} de seconde. Il est donc possible, mécaniquement, de localiser le phénomène dans la plaque, si le balayage ne dépasse pas 1/2 000^{e} de seconde. Ce temps de balayage correspond à des inscriptions supérieures atteignant le million, ce qui est généralement très suffisant pour des relevés sur des machines industrielles (étude de claquage de transformateurs, d'alternateurs, etc.)...

Pratiquement, l'arbre du moteur peut supporter un troisième

Digitized by Google

disque tournant se déplaçant devant un contact manœuvré par vis micrométrique, de façon à localiser facilement le phénomène dans le temps d'inscription. A la suite de ce disque, et, toujours sur l'arbre du moteur, peut être également calé un bras tournant devant une dent réglable par vis micrométrique, l'ensemble formant éclateur tournant pour l'étude du phénomène provoqué par haute tension et non plus par courant.

Le tube cathodique, pour l'enregistrement en haute fréquence, est monté aux bornes du secondaire du transformateur.

Un des pôles du transformateur est connecté à la cathode par l'intermédiaire d'une grande résistance ou d'une soupape, et l'autre pôle est relié à l'anode, à la masse de l'oscillographe et au sol. La tension peut varier de 40 000 à 50 000 volts et l'intensité passant dans le tube est de l'ordre de 10 milli, 15 au maximum.

Enregistrements en basse et moyenne fréquence.

L'inscription des phénomènes de basse et de moyenne fréquence ne dépassant pas quelques centaines de mille par seconde peut être également commandée par le même rupteur synchrone.

Dans ce cas, la courbe est inscrite sur le tambour rotatif muni d'un film ou d'un papier photographique. Ce tambour tourne dans le vide et il est entraîné de l'extérieur par un champ tournant créé par un stator L (fig. 2), agissant sur un rotor M placé dans le vide, commandant le tambour par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse N, également placé dans le vide.

Le tambour fait normalement 10 tours par seconde et pour ne pas superposer plusieurs inscriptions, le tube doit fonctionner pendant 1/10e de seconde seulement.

On utilise, pour alimenter le tube uniquement le disque de basse vitesse (fig. 5) du rupteur synchrone, dont on règle un des contacts et les balais, de façon à envoyer dans le primaire du transformateur, le courant d'alimentation pendant 1/10e de seconde, temps de rotation du tambour ; mais comme le secondaire du transformateur débite sur le tube cathodique par l'intermédiaire d'un condensateur volant et que celui-ci se décharge lentement une fois le courant primaire coupé (étant donné la grande résistance intérieure du tube, le temps de décharge provoque encore une inscription de l'ordre de 2 à 3/10e de seconde de durée), il est nécessaire de court-circuiter ce condensateur 1/100e ou 1/50e de seconde après la coupure du courant primaire. A

Digitized by Google

cet effet, un relais est placé en parallèle sur le primaire du transformateur ; ce relais est suffisamment inerte pour rester collé sur le courant alternatif, mais décolle environ 1/50e de seconde, après la coupure du courant, court-circuite le condensateur et éteint par conséquent le tube. L'inscription ne dure ainsi que pendant un tour du tambour.

D'autre part, le deuxième secteur et les deux autres contacts du disque de basse vitesse peuvent servir à provoquer le phénomène à

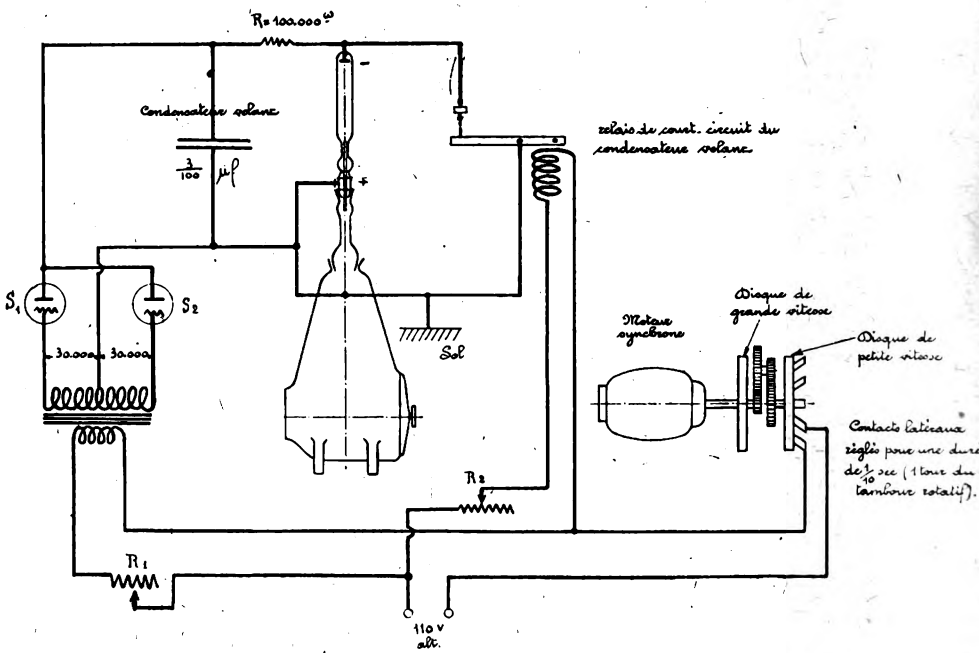


Fig. 5. — Schéma de principe basse et moyenne fréquence.

enregistrer (fermeture ou rupture de courant ou les deux) pendant le temps d'enregistrement.

La transformation du courant alternatif en courant continu haute tension alimentant le tube cathodique peut être obtenue, par exemple, comme l'indique la figure 5. Le secondaire du transformateur possède 3 bornes, une centrale reliée à une armature d'un condensateur, à l'anode, à la masse et au sol et les bornes extrêmes sont reliées chacune à une soupape électronique, de manière à laisser passer chaque demi-période alternativement par une des moitiés de l'enroulement. Les deux plaques des soupapes sont réunies ensemble et sont connectées à la deuxième armature du condensateur et à la cathode par l'intermédiaire d'une grande résistance. Le condensateur, dont la capacité est de l'ordre de 4/100e de microfarad est ainsi chargé sous

Digitized by Google

25 000 volts environ et sert de source à haute tension continue pour le fonctionnement du tube cathodique

L'inscription de courbes de courant ou de tension de basse fréquence ne dépassant pas quelques milliers par seconde, se fait directement sur le film tournant, celle des courbes de moyenne fréquence s'obtient en inscrivant celles-ci perpendiculairement sur une sinusoïde prise comme base à la fréquence variable de 500 à 1 000 par exemple.

Les connexions des différents circuits du rupteur synchrone sont établies de telle façon que le passage de l'utilisation en basse fréquence à l'utilisation en haute fréquence se fait simplement par l'inversion d'un commutateur spécial à plusieurs directions.

Sensibilité de l'oscillographe cathodique Dufour.

L'oscillographe Dufour fonctionne en tube à gaz avec une cathode froide alimentée sous haute tension.

La sensibilité obtenue, variant dans le cas de déviation par champ magnétique comme l'inverse de la racine carrée de la tension d'alimentation et dans le cas de déviation par champ électrique comme l'inverse de la tension d'alimentation, est donc moins bonne que celle sur laquelle on peut compter avec un oscillographe à cathode chaude alimenté sous basse tension. Mais l'avantage du fonctionnement à haute tension permettant d'obtenir une tache très fine, et surtout produisant un faisceau de rayons cathodiques susceptibles d'impressionner les plaques photographiques, quelle que soit la vitesse de déplacement du faisceau, est tel qu'il est préférable de conserver l'alimentation du tube sous haute tension et de chercher à augmenter la sensibilité par des dispositifs extérieurs convenablement étudiés.

La sensibilité à la tension peut être de l'ordre de 20 mm de déviation pour 100 volts avec des plateaux convenablement dimensionnés, et ceci d'une façon pratiquement indépendante de la fréquence.

La sensibilité au champ magnétique est variable suivant la fréquence des courants à enregistrer.

Si on ne dépasse pas quelques milliers par seconde, l'emploi de tube déviateur étroit et de bobines hautes à grand nombre de tours de fil, permet d'obtenir des sensibilités de l'ordre de 10 mm de déviation par milliampère, ce qui est comparable à la sensibilité donnée par les bons oscillographes à cadre ou palette mobile. Jusqu'à la fréquence 100 000, on peut encore utiliser des bobines donnant des sensibilités

Digitized by Google

de l'ordre de 3 mm par milliampère. Enfin, l'utilisation de plus en plus courante de lampes amplificatrices à plusieurs électrodes, résout d'autre part généralement le problème, lorsqu'il est nécessaire d'obtenir des sensibilités plus grandes.

L'oscillographe cathodique Dufour, tel qu'il est réalisé actuellement, est donc un véritable appareil de mesure pratique et qui doit rendre les plus grands services, aussi bien dans la pure recherche scientifique que dans l'étude des multiples problèmes touchant à l'industrie.

Digitized by Google

ÉTUDE DE L'EFFET WIEDEMANN ET SES APPLICATIONS [1]

par M. FROMY

Docteur ès sciences.

INTRODUCTION.

En 1837, Wiedemann découvrit qu'un fil de fer aimanté longitudinalement et parcouru par un courant était soumis à une torsion ; la même observation fut faite par la suite sur les autres métaux magnétiques : nickel, cobalt, ferro-nickel, etc...

Ce phénomène général connu sous le nom d'effet Wiedemann apparaît comme un effet de magnétostriction, analogue à celui de Joule, mais plus complexe. Il prend naissance sur un fil ou tube en métal magnétique chaque fois qu'on le soumet à l'action d'un champ hélicoïdal résultant de la superposition d'un champ uniforme parallèle à l'axe et d'un champ circulaire créé par un courant circulant dans le tube lui-même ou dans un fil isolé disposé suivant son axe.

Il se manifeste par une torsion, faible le plus souvent, de l'éprouvette ; le sens et la valeur de cette torsion dépendent du métal utilisé et des valeurs du champ et du courant. Tous les essais effectués jusqu'à ce jour avaient été faits en utilisant cet angle pour caractériser l'effet Wiedemann.

La plupart des auteurs qui ont étudié cet effet semblent l'avoir considéré comme un phénomène indépendant et se sont contentés de multiplier les expériences dans le but de dégager les lois générales en apparence fort complexes.

Les résultats obtenus sont assez confus et pas toujours très concordants ; toutefois, il semble qu'on puisse considérer comme généraux les faits suivants :

1° Sous l'action d'un champ et d'un courant parallèles à son axe, un tube en métal magnétique est soumis à une torsion. Si le courant est

---

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la Société Française des Electriciens du 7 janvier 1928.

Digitized by Google

dirigé de haut en bas et le champ de bas en haut, la torsion de l'extrémité inférieure libre du tube se fait dans le sens du champ circulaire dans le cas du nickel et en sens contraire dans le cas du fer.

2° La torsion s'annule et change de signe dès que l'un des deux facteurs champ ou courant s'annule et s'inverse, abstraction faite de l'hystérésis. On n'observe plus alors sur l'éprouvette que des effets de magnétostriction simple.

3° A champ constant, la torsion est proportionnelle au courant tant que celui-ci reste inférieur à une certaine limite mal définie et variable d'un essai à l'autre ; à partir de cette valeur, elle paraît tendre vers une limite ou un maximum.

4° A courant constant et champ variable, la torsion suit une loi beaucoup plus compliquée ; elle commence par croître avec le champ suivant une loi à peu près linéaire, puis passe par un maximum et décroît. La décroissance, d'abord rapide, se ralentit peu à peu. Dans le cas du fer, la torsion s'annule entre 150 et 250 gauss, puis s'inverse.

Dans le cas du nickel, la croissance et la décroissance sont plus lentes ; en outre, il n'y a pas d'inversion.

5° Le maximum de torsion se produit pour une certaine valeur du champ qui est indépendante du courant traversant le fil et reste la même que le courant passe dans le tube lui-même ou dans un fil isolé disposé suivant l'axe. En outre, ce champ n'a rien de commun avec celui qui correspond au maximum des effets Joule.

6° Le champ d'inversion, dans le cas du fer, semble n'avoir aucun rapport avec les points analogues des effets Joule. Il dépend de la valeur du courant axial et de la température de l'éprouvette et croît avec eux. Aucune théorie ne l'explique.

7° Les valeurs de l'angle de torsion, obtenues avec un courant et un champ donnés, ne sont pas les mêmes suivant que l'on établit en premier lieu l'un ou l'autre des champs inducteurs.

8° L'effet Wiedemann présente de l'hystérésis.

Quelques auteurs ont cherché à bâtir des théories susceptibles d'interpréter ces résultats, mais sans succès. D'autres, peu nombreux, ont essayé d'établir les liens qui relient l'effet Wiedemann aux autres phénomènes magnéto-mécaniques. En particulier, M. Williams, reprenant l'hypothèse de Maxwell, a voulu voir en lui une conséquence et un simple cas particulier de la magnétostriction ordinaire ; son étude basée sur des considérations trop sommaires n'a pas abouti à une démonstration complète, mais laisse entrevoir la grande analogie qui existe entre les deux phénomènes.

Digitized by Google

Pour terminer cet aperçu rapide de l'historique de l'effet Wiedemann, on peut conclure que :

1° Cet effet, considéré pendant longtemps comme un phénomène indépendant, paraît être en réalité une conséquence de l'effet Joule de magnétostriction. Il semble qu'une étude dans ce sens, reposant sur des bases solides, soit susceptible de conduire à des résultats nouveaux, et il était intéressant de l'entreprendre afin de mieux pénétrer le mécanisme du phénomène.

2° Il se manifeste, en pratique, par une torsion de l'éprouvette qui, dans la plupart des cas, est imperceptible et en rend l'utilisation presque impossible ; il fallait, dans ce but, rechercher s'il ne serait pas possible de substituer à la torsion, habituellement utilisée comme paramètre caractéristique, un autre effet plus important.

L'étude qui suit se propose d'examiner ces deux points de vue :

La première partie comprend une étude théorique dans laquelle on s'est efforcé d'analyser aussi complètement que possible, les conséquences des déformations dues à l'effet Joule dans les conditions d'expérience qui donnent naissance à la torsion magnétique et de rechercher les liens qui peuvent exister entre les deux phénomènes. Des expériences ont été faites pour vérifier les conclusions de la discussion théorique.

La deuxième partie est consacrée aux possibilités d'emploi pratique de l'effet Wiedemann pour les besoins de l'électrotechnique et à la description d'un galvanomètre à résonance utilisant cet effet comme moteur.

PREMIERE PARTIE

Relations entre l'effet Wiedemann et l'effet Joule.

1° Magnétostriction ou effet Joule.

A. — *Déformations.*

Considérons un milieu magnétique indéfini soumis à l'action d'un champ uniforme $\mathcal{H}$. Nous supposerons pour simplifier que l'aimantation du milieu se fait sans hystérésis ; dans ce cas, le vecteur intensité d'aimantation est toujours parallèle au champ inducteur $\mathcal{H}$ et sa valeur ne dépend que de celle du champ.

Traçons dans le milieu considéré un trièdre de référence OXYZ (fig. 1) et orientons-le de façon que l'axe OZ soit parallèle au champ.

Digitized by Google

Sous l'action de la magnétostriction le milieu se déforme et on observe :

1° Une dilatation linéaire parallèle au champ, donc suivant OZ.

2° Une dilatation linéaire dans toutes directions perpendiculaires au champ, c'est-à-dire suivant OX et OY.

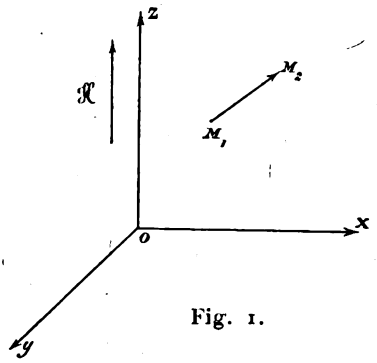


Fig. 1.

Désignons par J et J' les coefficients de ces dilatations linéaires respectivement parallèle et perpendiculaire au champ, et comptons-les positivement dans le sens d'une dilatation. Ces coefficients, de la forme $\frac{\Delta L}{L}$, sont des fonctions de l'intensité d'aimantation, donc du champ inducteur, et ne dépendent que de sa valeur.

En traitant les déformations du milieu magnétique considéré comme on le fait pour un milieu élastique homogène, on peut facilement en généraliser l'étude et utiliser comme système de référence un trièdre OXYZ d'orientation quelconque par rapport au champ (fig. 2). En désignant par α, β, γ les cosinus directeurs du champ inducteur dans ce nouveau système de référence, on trouve que les déformations se réduisent à :

1° Des dilatations linéaires suivant les trois axes η_1, η_2, η_3 de la forme

(1) $$\eta_1 = J\alpha^2 + J'(1 - \alpha^2).$$

2° Des distorsions ou glissements dans les trois plans de coordonnées de la forme

(2) $$g_1 = 2c\gamma (J - J').$$

B. — *Efforts créés par la magnétostriction.*

Considérons maintenant un cube d'arêtes parallèles aux axes de coordonnées (fig. 2). Ce cube faisant partie du milieu déformé subit des déformations données par les relations 1 et 2.

Digitized by Google

Cela étant, on peut définir quels sont les efforts qu'il faudrait exercer sur le cube pour produire, par des moyens mécaniques, des déformations équivalentes à celles que produit la magnétostriction. Ces efforts comprennent :

1° Des efforts normaux aux faces, donc parallèles aux arêtes N_1, N_2, N_3 produisant les dilatations linéaires.

2° Des efforts tangents aux faces, T_1, T_2 T_3 produisant les glissements g_1, g_2, g_3.

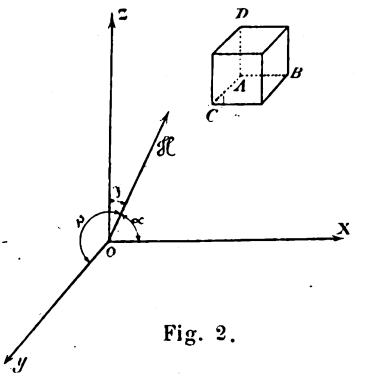


Fig. 2.

En désignant par λ et μ les coefficients élastiques du milieu, et en explicitant les déformations, les valeurs unitaires de ces efforts peuvent s'écrire sous la forme :

$$(3)\qquad \begin{cases} N_1 = \lambda\,(J + 2J') + 2\mu\,[J\alpha^2 + J'(1 - \alpha^2)] \\ T_1 = 2\mu\beta\gamma\,(J - J'). \end{cases}$$

Imaginons maintenant que le champ inducteur soit parallèle à l'un des axes de coordonnées, par exemple l'axe OZ, les expressions se réduisent à :

$$T_1 = T_2 = T_3 = 0$$
$$N_1 = N_2 = \lambda\,(J + 2J') + 2\mu J'$$
$$N_3 = \lambda\,(J + 2J') + 2\mu J.$$

Ainsi dans ce cas particulier, les efforts se réduisent à :

1° Un effort de dilatation parallèle au champ inducteur et de valeur unitaire :

$$F = \lambda(J + 2J') + 2\mu J.$$

2° Un effort de dilatation perpendiculaire au champ inducteur et de valeur unitaire :

$$F' = \lambda(J + 2J') + 2\mu J'.$$

Ces efforts unitaires F et F' sont ceux qu'il faudrait exercer sur le

Digitized by Google

cube, ou plus généralement sur le milieu soumis à l'action du champ uniforme $\mathcal{H}$, pour produire par un moyen mécanique des déformations équivalentes à celles que produit la magnétostriction.

Dès lors, on peut considérer les déformations de magnétostriction comme la conséquence d'efforts de dilatation F et F′ que le champ fait naître dans le milieu parallèlement à sa direction et dans toutes directions perpendiculaires.

Ces efforts F et F′ varient en direction avec l'orientation du champ et leurs valeurs ne dépendent que de celles du champ dans l'hypothèse où il n'y a pas d'hystérésis. Ils peuvent être considérés comme caractéristiques de l'action du champ; nous les désignerons par la suite sous le nom d'*efforts principaux*.

Plus généralement, si le champ a une orientation quelconque par rapport aux trois axes, on peut considérer les déformations de magnétostriction comme la conséquence d'efforts que l'action du champ fait naître dans le milieu. Ces efforts comprennent des efforts de dilatation parallèles aux axes et des efforts de glissements tangents aux plans de coordonnées.

Les valeurs unitaires de ces efforts sont données par les formules (3). On peut les expliciter en fonction des efforts principaux F et F′ ; on trouve tous calculs faits :

$$(4) \qquad \begin{cases} N_1 = \alpha^2 F + (1 - \alpha^2) F' \\ T_1 = \beta\gamma (F - F') \end{cases}$$

et des expressions analogues pour les autres efforts.

Ces formules représentent également au signe près les valeurs des efforts mécaniques qu'il faudrait exercer sur le milieu déformé pour le ramener à son état initial et annuler l'effet de magnétostriction.

Comme ces efforts sont reliés aux efforts principaux F et F′ par des formules simples et dans lesquelles n'intervient aucun coefficient élastique, leur mesure permet de remonter à l'origine des déformations de magnétostriction et d'évaluer les efforts principaux qui ne dépendent, pour un milieu donné, que de la valeur du champ inducteur.

La considération de ces efforts permet une grande simplification de la discussion des phénomènes de magnétostriction dans les cas complexes (effet Wiedemann), car elle permet d'éliminer les constantes élastiques du milieu et de ne pas mettre en cause les dimensions géométriques des éprouvettes.

Digitized by Google

2° Torsion magnétique ou effet Wiedemann.

A. — *Déformation d'un tube mince.*

Considérons un tube en métal magnétique (fig. 3). Soient r son rayon et c son épaisseur supposée très petite devant r.

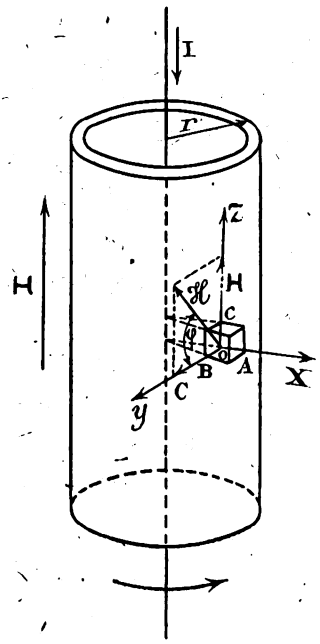


Fig. 3.

Soumettons ce tube aux actions de deux champs inducteurs :

1° Un champ uniforme H (longitudinal) parallèle à son axe et dirigé de bas en haut.

2° Un champ circulaire C produit par un courant I traversant un conducteur isolé et disposé suivant l'axe du tube. Le courant I sera compté positivement de haut en bas.

Puisque, par hypothèse, l'épaisseur e est très faible devant r, on peut considérer le champ C comme constant en tous points du tube et sa valeur est :

$$C = \frac{2I}{r}.$$

Cela étant, considérons un volume élémentaire O.ABC délimité dans le tube par deux plans perpendiculaires à l'axe et par deux plans passant par l'axe.

Digitized by Google

Cet élément de volume est soumis à un champ magnétique $\mathcal{H}$ qui est la résultante du champ longitudinal H et du champ circulaire C et qui peut être regardé comme uniforme en grandeur et en direction dans tout l'espace occupé par le cube élémentaire. Sous l'action du champ $\mathcal{H}$ il se déforme par magnétostriction.

Comme le champ circulaire C est le même en tous points du tube, tous les éléments de volume analogues à celui que nous venons de considérer, se déforment de la même façon et les déformations du tube sont identiques à celle d'un élément. Il suffit donc d'étudier la déformation d'un élément de volume, étude qui se trouve ramenée à celle de la magnétostriction en adoptant comme système de référence le trièdre O.XYZ dont les axes sont (fig. 3) :

OX dirigé suivant le rayon du tube passant par l'élément.

OZ dirigé suivant la génératrice du tube passant l'élément.

OY perpendiculaire aux deux premiers ; donc dirigé suivant la tangente au tube.

On trouve alors que les déformations du tube se décomposent comme suit :

1° Une dilatation linéaire suivant l'épaisseur ;

2° — — — la circonférence.

3° — — — l'axe.

4° Un glissement parallèle à la circonférence, qui seul nous intéresse et qui donne naissance à une torsion du tube de valeur unitaire :

$$\theta = 2\,\frac{J - J'}{r}\,\frac{HC}{H^2 + C^2} \tag{5}$$

comptée positivement dans le sens qui correspond à une diminution de l'angle $\widehat{ZOY}$, c'est-à-dire dans le sens de la flèche (fig. 3), si on suppose le tube encastré par son extrémité supérieure.

Cette torsion, qui caractérise l'effet Wiedemann, peut être regardée comme la conséquence d'un couple de torsion développé par la magnétostriction et de valeur :

$$K = 2s\,(F - F')\,\frac{HI}{H^2 + C^2} \tag{6}$$

en désignant par s la section droite du tube.

En pratique, le champ circulaire C est généralement faible devant H, en sorte que l'on peut négliger C^2 devant H^2 et écrire :

$$K = 2s\,(F - F')\,\frac{I}{H} \tag{7}$$

F et F′ ne dépendant plus alors que du champ longitudinal H .

Digitized by Google

Cette expression représente la valeur du couple mécanique qu'il faudrait exercer à la base du tube pour annuler la torsion de Wiedemann. Dans ces conditions, les déformations du tube se réduiraient aux seules dilatations produites par les efforts N_1, N_2, N_3 non équilibrés et qui seraient symétriques par rapport à l'axe.

B. — *Déformations d'un tube épais.*

Le tube mince sur lequel nous venons de raisonner n'est pas réalisable en pratique et dans les tubes réels l'épaisseur e est du même ordre de grandeur que le rayon moyen r.

L'étude des déformations est alors beaucoup plus complexe, car le champ circulaire C ne peut plus être regardé comme constant dans tout le tube et le champ résultant $\mathcal{H}$ en un point du métal varie en grandeur et en direction avec la distance de ce point à l'axe.

Les diverses couches du tube sont soumises à des régimes très différents. Imaginons que le tube réel soit constitué par un nombre très grand de tubes concentriques d'épaisseur très petite et supposons tout d'abord que ces tubes soient indépendants les uns des autres. Sous l'action des champs inducteurs, ils se déforment chacun pour son compte, comme nous l'avons vu ci-dessus, et, en particulier, la torsion de chacun d'eux obéit à la formule (5). Les tubes de plus petit rayon, c'est-à-dire les couches internes du tube, sont soumis à des torsions supérieures à celles des tubes de plus grand rayon, c'est-à-dire les couches externes. Si le tube est un peu épais, le rapport des torsions extrêmes peut être très grand et atteindre plusieurs unités.

Or, en pratique, les tubes élémentaires ne sont pas indépendants les uns des autres et se gênent mutuellement dans leurs mouvements. La torsion des couches externes est augmentée, celle des couches internes est diminuée.

Il est donc difficile d'expliciter la torsion apparente du tube, utilisée habituellement pour caractériser l'effet Wiedemann. D'ailleurs, si on voulait tenter le calcul, il faudrait faire intervenir des constantes élastiques et rien ne prouve, *à priori*, que l'on soit en droit d'utiliser celles que permettent de définir et de mesurer des essais mécaniques ordinaires.

Le calcul devient, au contraire, abordable même dans le tube épais si, au lieu de considérer les déformations, on considère les efforts qui leur donnent naissance. On trouve alors que la formule (7) établie pour un tube mince reste valable, c'est-à-dire que dans les limites où

Digitized by Google

on peut regarder C^2 comme négligeable devant H^2, le tube est soumis à un couple :

$$K = 2S(F - F') \frac{I}{H} \tag{8}$$

où S représente la section droite du tube réel.

C. — *Discussion.*

L'étude des déformations d'un tube mince, nous a conduits à l'établissement de la formule (5) qui fournit la valeur de l'angle de torsion en fonction des données du problème (r, H et C) et des coefficients J et J' caractéristiques de l'effet Joule sous l'action du champ résultant

$$\mathcal{H} = \sqrt{H^2 + C^2}.$$

La discussion de cette formule permet de déterminer les lois de variation de l'angle de torsion en fonction des valeurs des champs inducteurs, c'est-à-dire précisément les lois de l'effet Wiedemann sous sa forme habituelle. En négligeant l'hystérésis, on peut les énoncer comme suit :

1° Sous l'action d'un champ et d'un courant parallèles à son axe, comptés positivement comme l'indique la figure 3, un tube en métal magnétique est soumis à une torsion dont le sens dépend, toutes choses égales par ailleurs, des signes des coefficients J et J'. Dans le cas du fer et pour les sens positifs adoptés, la torsion est positive. Dans le cas du nickel, elle est négative.

2° La torsion s'annule et change de signe dès que l'un des facteurs, champ ou courant, s'annule et s'inverse.

3° A champ constant, la torsion est proportionnelle au courant I tant que celui-ci est assez faible pour que C soit petit devant H. Si C devient égal ou supérieur à H, la loi de proportionnalité disparaît et la torsion passe par un maximum. Elle pourrait décroître et s'inverser dans le cas du fer avec des courants assez forts.

Le courant qui correspond au maximum est tel que le champ circulaire C ait la même valeur que le champ longitudinal h qui donne le maximum de torsion dans la courbe à courant constant et à champ variable.

4° A courant constant et à champ variable, la torsion commence par croître à peu près proportionnellement à H, tant qu'il reste faible ; elle passe ensuite par un maximum et décroît, d'abord rapidement, puis plus lentement. La torsion s'annule lorsque les coefficients J et

Digitized by Google

J' deviennent égaux et de mêmes signes ($J - J' = 0$), puis elle s'inverse.

5° Le maximum de torsion se produit pour une certaine valeur du champ qui ne dépend que des formes des courbes J et J' des coefficients de l'effet Joule et est indépendante de la valeur du courant I. En outre, cette valeur n'a aucun rapport avec celles qui rendent maximum l'un ou l'autre des effets Joule.

6° Le point d'inversion, correspondant au champ pour lequel $J = J'$, ne dépend également que des formes des courbes des effets Joule et est indépendant du courant. Il correspond au point de rencontre des courbes J et J' et n'a aucun lien avec les points d'inversion des effets Joule.

Ces lois ne s'appliquent, en toute rigueur, qu'au cas d'un tube mince pour lequel a été établie la formule (5), mais elles restent valables en pratique tant qu'on n'a en vue qu'une vérification qualitative.

Si on compare les lois synthétiques de l'effet Wiedemann avec les lois qualitatives déduites de l'expérience et résumées au début, on voit qu'il y a un très bon accord.

En outre, la discussion théorique permet d'éclairer d'un jour nouveau, certains résultats expérimentaux en apparence contradictoires. C'est le cas, en particulier, pour la forme de la courbe de torsion à champ constant en fonction du courant ; M. Jouaust indiquait en effet que cette courbe, d'abord rectiligne, s'incurvait et semblait tendre vers une limite, alors que les essais d'autres expérimentateurs, en particulier ceux de M. Williams, paraissaient faire croire à une proportionnalité continue.

La divergence apparente provient uniquement de différences entre les valeurs relatives des champs inducteurs utilisés dans les deux séries d'essais. M. Jouaust opérait, en effet, sur des fils fins parcourus par un courant intense et aimanté par un faible champ longitudinal. Le champ circulaire C était alors supérieur au champ longitudinal H et la loi de proportionnalité disparaît. La valeur du champ C qui donne le maximum de torsion s'est trouvée sensiblement égale à la valeur h du champ longitudinal qui correspond au maximum de la courbe à courant constant et champ variable.

Au contraire, M. Williams utilisait des tubes relativement gros et aimantés par des champs intenses, en sorte que C restait inférieur à H.

Le point d'inversion, dans le cas du fer, au voisinage d'un champ de 200 gauss et resté mystérieux, trouve son explication très simplement.

Digitized by Google

Il est une conséquence de l'effet Joule transversal, dont M. WILLIAMS n'avait pas tenu compte et qui réduit en partie l'action de l'effet longitudinal si les deux effets sont de mêmes signes ; si de plus ils sont égaux, la compensation est complète et la tension s'annule.

Pour compléter la comparaison avec l'expérience, il était intéressant de tracer la courbe synthétique de l'effet Wiedemann en partant des courbes expérimentales de magnétostriction. Cet essai a été fait sur des courbes relevées par M. WILLIAMS sur un échantillon de fer ; le résultat se présente sous une forme identique à celle que fournit l'expérience.

Quelques particularités signalées dans l'énoncé des lois expérimentales restent inexpliquées ; nous allons les passer en revue et les discuter :

1° La synthèse indique que le point d'inversion observé sur le fer est indépendant du courant, alors que l'expérience montre que le champ correspondant croît avec lui. Mais l'expérience montre aussi que ce champ varie dans le même sens en fonction de la température de l'éprouvette et il est probable que l'action apparente de la valeur du courant sur le champ d'inversion n'est qu'une conséquence de l'échauffement du fil.

2° La théorie ne rend pas compte de l'hystérésis puisque, par hypothèse, nous l'avons supposée nulle dès le début ; mais il est évident que, s'il y a de l'hystérésis dans l'effet Joule (ce que l'expérience vérifie), il y en a aussi dans l'effet Wiedemann qui suit les variations du terme $(J - J')$.

3° Enfin, l'expérience a montré que la valeur de la torsion, obtenue avec un champ et un courant donnés, n'était pas la même suivant qu'on établissait en premier lieu le champ longitudinal ou le courant. Rien dans la théorie proposée ne permet de prévoir ce dernier résultat, mais on peut très simplement l'interpréter comme une conséquence de l'hystérésis dont il n'a pas été tenu compte jusqu'ici.

La discussion qui précède semble montrer que la théorie proposée fournit une interprétation qualitative très satisfaisante de l'effet Wiedemann et permet de rendre compte très simplement de toutes les anomalies qui faisaient dire à M. WILLIAMS que la relation simple soupçonnée par Maxwell entre l'effet Wiedemann et l'effet Joule était masquée par des phénomènes inconnus et complexes. Il semble bien, au contraire, que la torsion magnétique soit effectivement une manifestation particulière de la magnétostriction et que rien ne vienne s'y superposer.

Une étude complète devrait tenir compte de l'hystérésis, mais dans

Digitized by Google

un premier essai, cette complication est inutile, car on peut, en pratique, éliminer l'hystérésis en traçant des cycles complets et en étudiant la courbe que constitue le sommet des cycles.

Avec cette réserve la théorie ci-dessus peut servir de base solide pour discuter les méthodes d'étude utilisées précédemment et permettre de mettre au point un dispositif propre à faciliter des rapprochements ou des comparaisons entre les deux phénomènes considérés.

D. — *Nouvelle méthode d'étude.*

La méthode d'étude, universellement adoptée jusqu'à ce jour par les auteurs qui ont étudié la torsion magnétique, consiste à mesurer l'angle de torsion apparente de l'éprouvette, à l'aide d'un petit miroir collé sur elle ou sur une pièce quelconque faisant corps avec son extrémité libre.

Or, nous avons vu ci-dessus que si le tube n'est pas infiniment mince, les différentes couches du métal sont soumises à des torsions différentes. Comme c'est précisément le cas en pratique, puisque tous les essais ont porté sur des tubes pleins ($e = 2r$) ou des tubes dans lesquels l'épaisseur était de l'ordre de grandeur du rayon moyen, l'interprétation de la torsion mesurée par le déplacement du spot du miroir devient des plus délicates.

Il fallait donc chercher une méthode d'étude plus rationnelle. Le principe en a été fourni par le résultat de la discussion ci-dessus qui montre que la considération des efforts, en l'espèce le couple de torsion, permet d'étendre le calcul au cas des tubes épais et conduit tout naturellement à adopter ce couple comme paramètre caractéristique de l'effet Wiedemann.

Le dispositif expérimental utilisé est le suivant :

L'éprouvette est constituée par un tube creux disposé verticalement au centre d'une bobine magnétisante et traversé suivant son axe par un fil isolé dans lequel circule le courant. Le tube est soigneusement soudé à ses deux extrémités dans des montures indéformables ; l'armature supérieure est solidement fixée à un support rigide et l'armature inférieure porte un miroir de galvanomètre qui permet de contrôler ses rotations. Sur l'équipage inférieur, on applique un couple mécanique tel que le spot fourni par le miroir sur une échelle graduée revienne à la position qu'il occupait en l'absence des champs inducteurs.

Dans ces conditions, la torsion du tube est annulée et le couple

Digitized by Google

mécanique appliqué à la base est égal et de signe contraire au couple de magnétostriction ; un étalonnage préalable du premier fournit immédiatement la valeur du second.

Les déformations de l'éprouvette ne sont pas complètement annulées, puisqu'il subsiste encore des variations de longueur suivant l'axe, le rayon et l'épaisseur ; mais ces variations ne modifient pas la condition d'équilibre des couples, en sorte que la valeur mesurée est précisément celle que l'on obtiendrait si toutes les déformations du métal étaient supprimées.

La méthode proposée satisfait donc aux conditions désirées ; de plus, elle permet de ramener l'interprétation de l'effet Wiedemann aux calculs des efforts créés par la magnétostriction entre les différents éléments constitutifs du métal considéré comme indéformé. Malheureusement, cette méthode serait très peu sensible si on l'utilisait dans les conditions d'expérience réalisées jusqu'à ce jour, car les torsions sont toujours très faibles et il serait difficile de définir avec précision le retour au zéro. De plus, on serait à la merci d'une déformation résiduelle des supports ou du tube lui-même et on serait ainsi exposé à faire des erreurs assez fortes.

On peut tourner la difficulté en remplaçant l'un des facteurs continus, champ ou courant, par un champ analogue mais sinusoïdal. Le couple dû à l'effet Wiedemann devient lui-même alternatif et fait entrer le tube en vibrations. En donnant à celui-ci une période propre d'oscillation telle qu'il entre en résonance, on augmente considérablement la sensibilité du dispositif; l'expérience a montré que le rapport de l'amplitude de l'élongation du spot sous l'action d'un courant alternatif à la déviation produite par un courant continu de même valeur efficace, peut atteindre 1 000 à 1 500. Le zéro est obtenu en appliquant à la base du tube un couple antagoniste alternatif, synchrone du couple magnétique, de même amplitude que lui et en opposition de phase.

Dans ces conditions, le spot devient un simple organe de contrôle qui permet d'appécier avec une grande précision l'équilibre des deux couples; car la moindre vibration du tube suffit pour étaler le trait lumineux. On met aussi hors de cause les déformations résiduelles possibles du tube ou des supports qui ne peuvent donner que des effets continus.

Lequel des deux facteurs, champ ou courant, convient-il de rendre périodique ? Les essais en courants continus et la théorie ont montré que dans les cas usuels ($C < H$) l'effet Wiedemann est une fonc-

Digitized by Google

tion linéaire du courant et dépend du champ par une loi beaucoup plus compliquée. On a donc intérêt à utiliser un champ continu et un courant alternatif. Le couple est alors de même forme que le courant d'excitation, c'est-à-dire sinusoïdal, et on peut l'équilibrer par un couple antagoniste sinusoïdal, de même fréquence et de phase convenable.

Le couple antagoniste peut s'obtenir aisément en pratique, en fixant à la base du tube un petit aimant d'axe horizontal sur lequel on fait agir une bobine parcourue par un courant sinusoïdal, synchrone du courant créateur de l'effet de Wiedemann et de grandeur et phase convenables. Le synchronisme peut être obtenu automatiquement en utilisant comme sources de courant deux alternateurs montés sur le même arbre; le réglage de la phase s'obtient alors en modifiant les calages relatifs des deux stators.

Cette méthode présente sur la précédente des avantages appréciables :

1° Le remplacement de la torsion par le couple permet de caractériser l'effet Wiedemann par un paramètre beaucoup mieux défini et facilement accessible au calcul.

2° L'emploi d'une méthode de mesure, qui annule les déformations de l'éprouvette, permet de simplifier l'interprétation du phénomène et de la ramener aux calculs des forces qui s'exercent entre des éléments fixes.

3° La méthode proposée est susceptible d'une très grande sensibilité et de beaucoup de précision, grâce à l'emploi de la résonance et de l'équilibre entre deux couples périodiques. Les perturbations continues ou de fréquences différentes de celle du courant utilisé se trouvent ainsi automatiquement éliminées et le spot n'est plus qu'un simple organe de contrôle.

2° Expériences.

Les vérifications les plus intéressantes que l'on puisse faire des conclusions précédentes, consisteraient à reprendre les tentatives de M. Williams, c'est-à-dire mesurer séparément les efforts principaux F et F′ de l'effet Joule et l'effet Wiedemann sur la même éprouvette et comparer la courbe expérimentale du couple à la courbe synthétique déduite de la formule 8. Malheureusement, les mesures des efforts principaux de magnétostriction sur une éprouvette filiforme, qu'on est

Digitized by Google

conduit à utiliser pour l'étude de l'effet Wiedemann, sont assez difficiles.

On a donc cherché un autre terme de comparaison et fixé son choix sur l'intensité d'aimantation longitudinale du tube. En effet, dans le cas où C est petit devant H, le champ résultant est pratiquement égal à H et les efforts principaux de magnétostriction F et F', fonctions de H, doivent être liés à l'intensité longitudinale par une loi simple. Comme la valeur de la différence $F - F'$ peut se déduire des courbes de l'effet Wiedemann, la comparaison avec celles de l'intensité d'aimantation longitudinale doit permettre de déduire cette loi et fournir une justification indirecte de la théorie précédente. De plus, il doit y avoir une grande ressemblance entre les courbes de l'effet Wiedemann et celles de l'intensité d'aimantation relevées en fonction du champ longitudinal.

Les expériences ont eu pour but de vérifier cette hypothèse et de tenter cette comparaison. Elles ont porté d'abord sur un tube de nickel sur lequel les phénomènes paraissent devoir être les plus simples, puis sur un tube de fer.

Les manifestations de l'effet Wiedemann, caractérisé par le couple de torsion, ont été mesurées par le dispositif dont nous avons vu la description ci-dessus et l'étude de l'aimantation a été faite à l'aide d'un magnétomètre compensé éliminant l'action directe, sur la boussole, du bobinage inducteur. Pour éliminer les causes d'erreur dues au champ terrestre, celui-ci a été annulé par un champ auxiliaire.

A. — *Expériences sur un tube de nickel.*

Les expériences ont porté sur un tube de nickel industriel, garanti pur à 99 pour cent de nickel, de 23 cm de longueur, 2,7 mm de diamètre extérieur et 1,6 mm de diamètre intérieur.

Elles ont consisté à relever les courbes représentant les lois de variation du couple magnétique et de l'intensité d'aimantation en fonction des champs inducteurs.

Les essais sur l'effet Wiedemann ont comporté principalement :

1° L'étude du couple à champ constant et courant variable; dans ces essais le champ était maintenu à une valeur fixe et l'intensité efficace du courant alternatif axial a varié entre zéro et 6 A. Les résultats, représentés fig. 4, montrent que l'amplitude du couple est proportionnelle à celle du courant parce que le champ circulaire reste faible devant le champ longitudinal.

Digitized by Google

2° Le tracé de cycles à courant constant et champ variable; dans ces essais, le courant alternatif axial était maintenu à une valeur fixe (2,28 A efficaces) et le champ variait entre deux limites, appelées am-

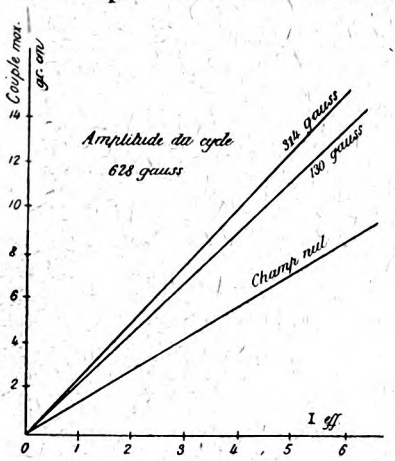


Fig. 4.

plitudes, et d'une façon cyclique. Les résultats se groupent en deux grandes classes :

Les cycles de grandes amplitudes (> 30 gauss), représentés fig. 5;

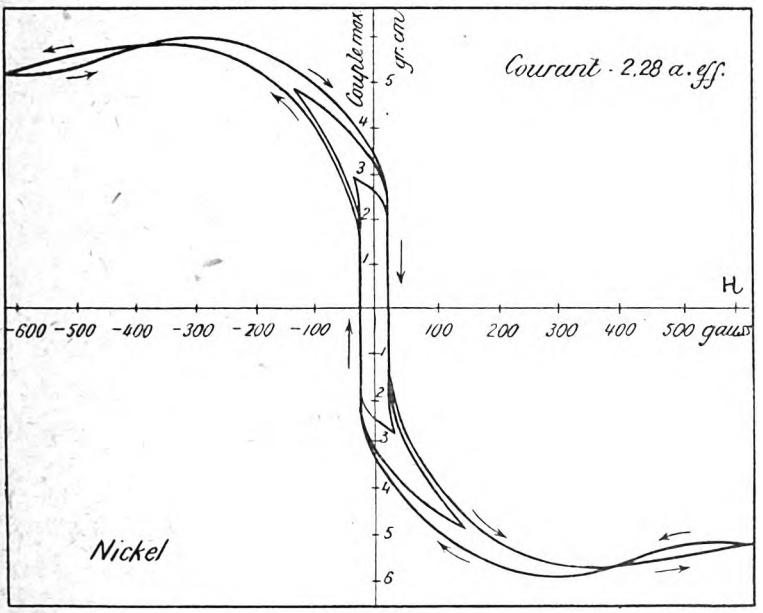


Fig. 5.

ils sont caractérisés par une grande stabilité et se présentent sous la forme habituelle des cycles d'hystérésis. On remarquera que pour

Digitized by Google

tous ces cycles le champ coercitif est le même et indépendant de l'amplitude.

Les cycles de petite amplitude (< 30 gauss), représentés fig. 6,

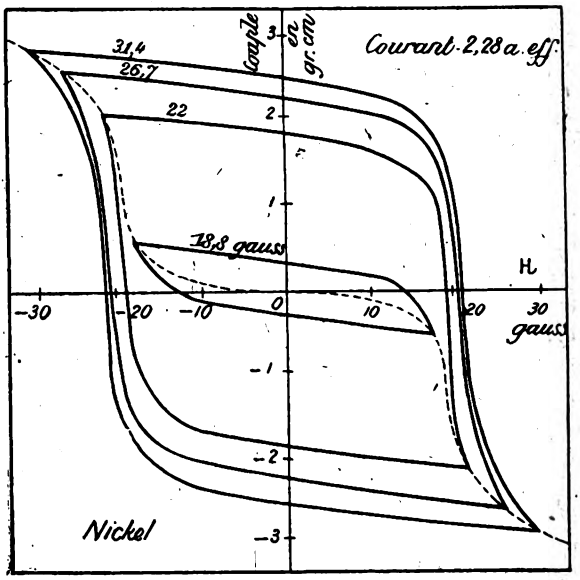


Fig. 6.

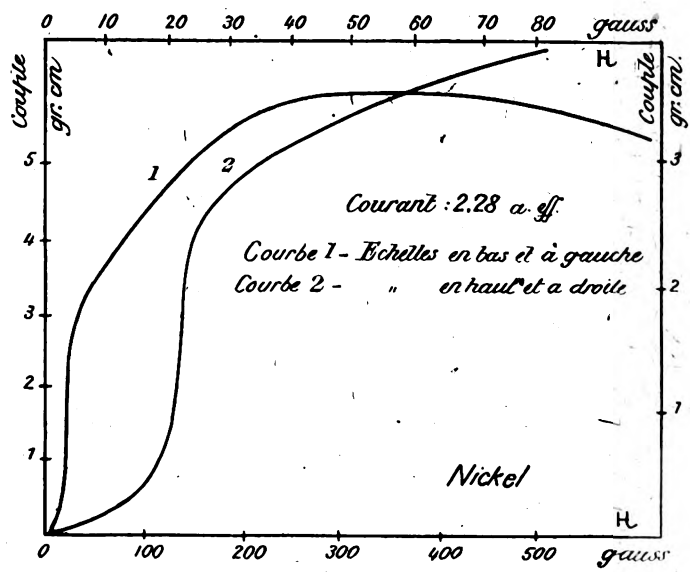


Fig. 7.

presque carrés et pour lesquels le champ coercitif devient fonction de l'amplitude. Ils mettent en évidence une très rapide diminution de la valeur du couple, lorsque le champ longitudinal passe de 22 à 18 gauss

Digitized by Google

environ et sont caractérisés par une grande instabilité, nécessitant pour l'étude des soins tout particuliers lors de la désaimantation et de la réaimantation de l'éprouvette.

3° Le relevé de la loi de variation du couple, à courant constant, en fonction du champ longitudinal dans une première aimantation. Les courbes obtenues (fig. 7) mettent en évidence, sous une autre forme, la très rapide croissance du couple entre 18 et 22 gauss.

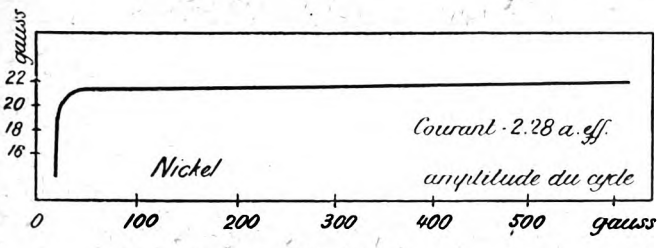


Fig. 8.

4° L'étude de la variation du champ coercitif en fonction des valeurs de l'amplitude du cycle (fig. 8) et de la valeur du courant (fig. 9).

Dans tous ces essais, le couple est resté en phase avec le courant axial, c'est-à-dire avec le champ circulaire.

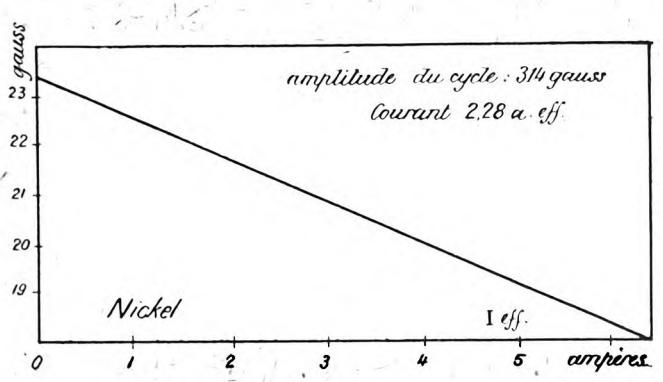


Fig. 9.

Des essais analogues ont été entrepris ensuite sur l'intensité d'aimantation; ils ont consisté à étudier les lois de variation de l'intensité d'aimantation longitudinale lorsque l'on fait varier d'une façon cyclique le champ longitudinal. Dans ces essais le courant alternatif axial était nul ou maintenu à une valeur efficace constante.

On a relevé :

1° En l'absence du courant alternatif axial, des cycles d'aimanta-

Digitized by Google

tion de grande amplitude (fig. 10) et de petite amplitude (fig. 11), puis des courbes de première aimantation (fig. 12, courbe 1). Toutes ces

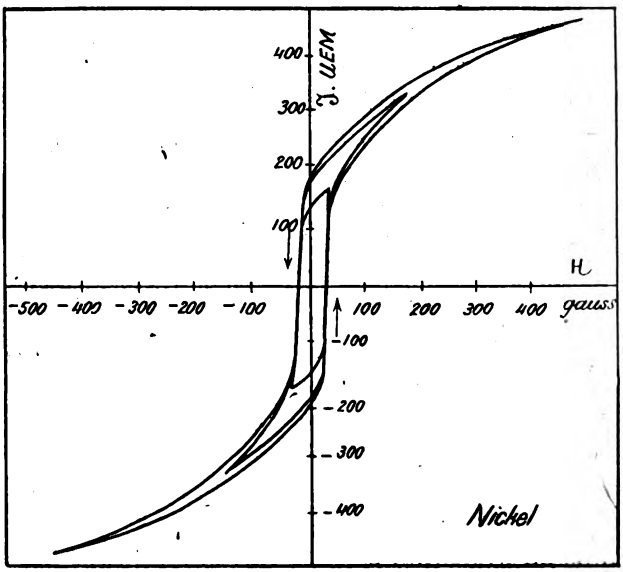


Fig. 10.

courbes présentent des caractères identiques à ceux des courbes correspondantes de l'effet Wiedemann.

2° Des cycles et des courbes analogues en présence d'un courant alternatif axial ayant 2,28 ou 7,2 A efficaces afin d'examiner la per-

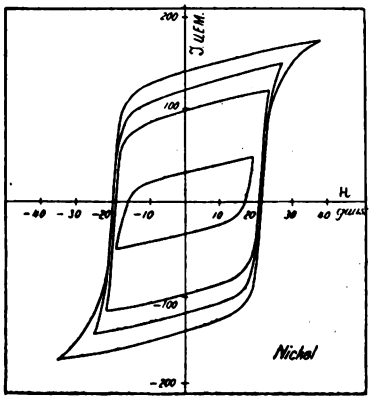


Fig. 11.

turbation apportée par ce courant. Les résultats ont été identiques sauf que le champ coercitif et la valeur du champ pour lequel se produit la croissance rapide du couple sont légèrement diminués (cour-

Digitized by Google

bes 2 et 3 fig. 12). Les lois de variation du champ coercitif en fonction de l'amplitude du cycle et de l'intensité du courant axial sont identiques aux courbes correspondantes relevées à propos du couple (fig. 8 et 9).

3° L'influence de la température. Celle-ci se réduit à une légère diminution du champ coercitif à mesure que la température s'élève.

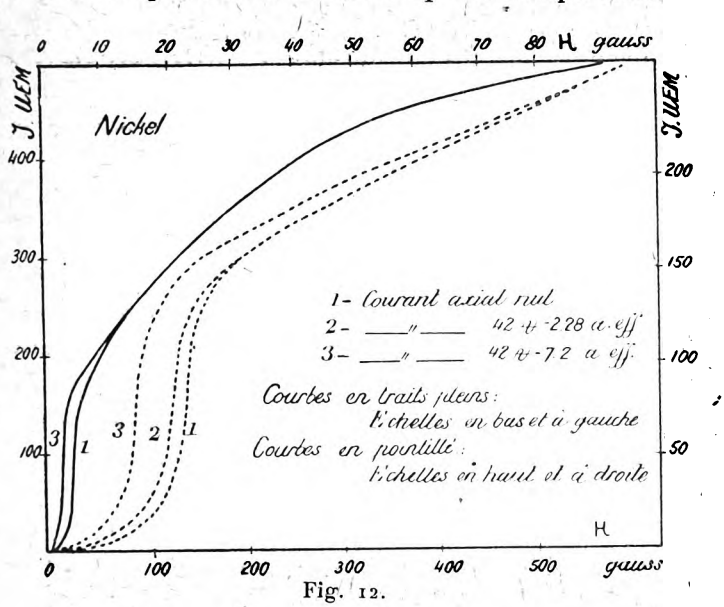


Fig. 12.

Enfin, en combinant les courbes de l'effet Wiedemann et celles de l'aimantation, on a déduit la loi de variation de la fonction $F - F'$ en fonction de l'intensité d'aimantation longitudinale et trouvé que cette loi pouvait s'exprimer par la formule :

$$F - F' = 0{,}13\mathfrak{J}^2 + 1{,}64 \cdot 10^{-6}\mathfrak{J}^4.$$

$\mathfrak{J}$ variant entre zéro et 500 UEM.

La discussion de ces divers essais expérimentaux conduit aux conclusions suivantes :

Les essais sur l'effet Wiedemann ont fourni des résultats en bon accord avec les expériences antérieures, mais les manifestations du phénomène ne sont plus aussi minimes et la valeur du couple peut atteindre une quinzaine de grammes-centimètres. A champ constant, le couple est une fonction linéaire du courant axial. A courant constant, sa variation en fonction du champ longitudinal est plus complexe; il commence par croître, passe par un maximum aux environs de 330 gauss puis diminue lentement. Il est toujours en phase avec le courant.

Digitized by Google

En régularisant les effets d'hystérésis par l'étude de cycles fermés, la valeur du couple pour un courant et un champ donnés est indépendante de l'ordre dans lequel on a établi les champs inducteurs.

Les cycles relevés sur l'effet Wiedemann et sur les variations de l'intensité d'aimantation longitudinale montrent que ces deux phénomènes sont doués d'hystérésis et ont beaucoup de caractères communs.

Dans les champs élevés, leurs variations s'effectuent suivant un mécanisme analogue à celui de tous les phénomènes présentant de l'hystérésis, les résultats observés sont stables et indépendants de la température de l'éprouvette dans les limites des expériences.

Dans les champs faibles, au contraire, le nickel se trouve dans un état d'instabilité spéciale et il devient difficile d'obtenir des résultats toujours identiques à eux-mêmes. La température et le courant axial amènent des perturbations importantes dans les valeurs de l'intensité d'aimantation et du couple qui croissent avec eux. La désaimantation complète est très difficile à obtenir et ne se maintient pas.

Le passage de l'une des régions à l'autre s'effectue entre 18 et 24 gauss lorsque le courant axial est 2,28 a. eff. et la température du tube comprise entre 15 et 18°c. Cette zone semble correspondre, pour le nickel étudié, à un champ critique dont la valeur varie avec la température de l'éprouvette et l'intensité du courant axial; une croissance de l'un ou de l'autre provoque une diminution du champ critique, donc réduit l'hystérésis.

Au-dessus de la zone critique (champs élevés), les phénomènes ont des valeurs relativement grandes; au-dessous (champs faibles), ils sont au contraire difficilement mesurables; dans la zone leurs intensités varient très rapidement. Il en résulte que, dans l'étude d'un cycle de grande amplitude, les deux effets étudiés s'annulent et s'inversent très brutalement dès que la valeur du champ longitudinal atteint la zone critique, et cela quelle que soit la valeur de l'amplitude. Cette discontinuité disparaît pour les cycles de faible amplitude pour lesquels le champ coercitif est fonction de l'amplitude et diminue rapidement avec elle.

Cette discussion met en lumière, sur le nickel étudié, quelques anomalies qui ont beaucoup de rapports avec celles qu'a signalées M. Forrer dans ses essais systématiques sur les irrégularités de l'aimantation du nickel. Les résultats sont à rapprocher, en particulier, de ceux qu'a fournis la « matière à propriétés uniformes » et que M. Forrer a obtenus en « donnant à son fil étiré et courbé une forme

Digitized by Google

exactement rectiligne ». Or, le tube étudié se trouve précisément dans des conditions analogues puisqu'il a été réalisé par étirages successifs à la filière.

L'analogie entre les lois de variation des deux phénomènes analysés est complète; de plus, la comparaison entre eux a permis d'établir une relation simple entre les efforts principaux de magnétostriction et l'intensité d'aimantation longitudinale. Il semble donc bien que l'interprétation proposée pour expliquer l'effet Wiedemann soit en bon accord avec l'expérience.

B. — *Expériences sur un tube de fer.*

Les expériences ont porté sur un tube de fer ayant les mêmes dimensions que l'éprouvette de nickel précédente. Elles comprennent principalement le relevé de cycles représentant la loi de variation de

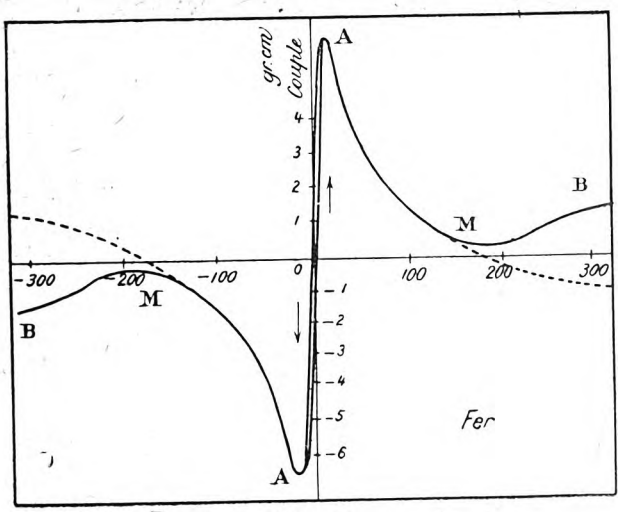


Fig. 13.

l'amplitude du couple lorsque l'on fait varier le champ longitudinal d'une façon cyclique, le courant alternatif axial étant maintenu à une valeur efficace constante.

Le cycle relevé et représenté fig. 13 a été obtenu en maintenant le courant alternatif axial à une valeur efficace de 1,8 A et en faisant varier le champ longitudinal entre + 314 et — 314 gauss.

La courbe de la fig. 13 se présente sous une forme analogue à celle qu'ont fournie tous les essais statiques.

L'amplitude du couple commence par croître rapidement, passe

Digitized by Google

par un maximum lorsque le champ longitudinal a atteint 13 gauss, puis décroît. Pour un champ de 180 gauss, le couple passe par un minimum puis croît à nouveau.

Simultanément, on a étudié la loi de variation de la phase du couple par rapport au courant axial qui le crée et on a constaté que :

1° Dans la région OA, le couple est sensiblement en phase avec le courant.

2° Dans la région extrême B, il est en position de phase.

3° Dans la région intermédiaire AMB, la phase s'inverse progressivement de 180° et en particulier lorsque le champ longitudinal atteint la valeur pour laquelle l'amplitude du couple passe par un minimum (région M) le couple est en quadrature sur le courant.

Si on affecte un signe à l'amplitude du couple pour tenir compte de la phase, la région extrême B doit être reportée au-dessous de l'axe des abscisses et la courbe prend approximativement la forme représentée en pointillée. On retrouve alors exactement les résultats obtenus par les essais statiques avec un point d'inversion en M.

Toutefois l'analogie n'est pas complète, puisque en réalité l'amplitude du couple ne s'annule pas en M.

Cette anomalie apparente s'interprète très aisément par la théorie ci-dessus dont elle fournit une vérification directe particulièrement intéressante. Nous avons vu, en effet, que la torsion magnétique, ou le couple, est la résultante de deux effets de signes contraires dus, l'un à la magnétostriction longitudinale, l'autre à la magnétostriction transversale; celui de ces deux effets dont l'action est prépondérante donne son signe à la torsion apparente et l'inversion se produit au moment où ils sont égaux.

Lorsque l'on substitue au champ circulaire continu le champ alternatif créé par le courant axial, les deux effets de magnétostriction deviennent périodiques, mais, par suite de l'hystérésis, ils se trouvent légèrement déphasés par rapport à leur cause commune. Si les déphasages ne sont pas rigoureusement égaux, les deux effets considérés ne sont pas opposés et ne peuvent s'annuler; en particulier au moment où ils sont égaux en valeurs absolues, l'action résultante est faible, mais n'est pas nulle, et est en quadrature sur le courant axial; c'est précisément ce que l'on observe dans la région M de la courbe de la fig. 13.

Dans les régions A et B, où l'un des effets a une action franchement prépondérante sur l'autre, le couple est en phase avec le courant; dans la région AMB la phase varie progressivement de 180°.

Digitized by Google

Si on compare les résultats obtenus sur le fer avec ceux qu'ont fournis les essais sur le nickel, on constate que le couple est plus important dans le cas du fer et atteint, avec un courant axial de 1,8 a. eff. une valeur maxima de 6,7 grammes-centimètres environ, tandis que dans le cas du nickel, avec un courant de 2,28 a. eff le maximum observé était seulement de 6 grammes-centimètres.

4° Conclusions.

La conclusion qui se dégage nettement de cette étude est que l'effet Wiedemann n'est pas un phénomène indépendant, mais une simple conséquence de la magnétostriction ordinaire. L'aspect très caractéristique et un peu compliqué sous lequel se présentent les courbes correspondantes est dû simplement à la forme hélicoïdale du champ inducteur; aucun phénomène auxiliaire ne vient se superposer à l'effet Joule et l'analyse permet d'interpréter toutes les anomalies apparentes.

De plus, l'effet Wiedemann, caractérisé par le couple de torsion au lieu de l'angle, n'est plus un phénomène négligeable, puisque le couple atteint facilement plusieurs dizaines de grammes-centimètres avec une éprouvette en fer. Cette constatation donne l'espoir, à condition d'utiliser directement le couple, de pouvoir réaliser des applications pratiques de la torsion magnétique qui se manifeste ainsi par un effet important.

DEUXIEME PARTIE

Application de l'effet Wiedemann et la réalisation d'un galvanomètre à résonance.

Dans le dispositif expérimental décrit ci-dessus à propos de l'étude de l'effet Wiedemann, on donne au couple de torsion magnétique une forme sinusoïdale en remplaçant l'un des champs continus par un champ analogue mais alternatif et on annule son action à l'aide d'un couple auxiliaire convenablement réglé. Le contrôle de l'équilibre est fait par l'observation des oscillations du tube, mises en évidence par un spot lumineux, et la sensibilité est considérablement augmentée en établissant la résonance entre le champ alternatif moteur et les oscillations libres de l'éprouvette.

Si on supprime le champ antagoniste auxiliaire qui maintient le

Digitized by Google

spot au repos, le tube se met à osciller, entraînant un étalage de la tache lumineuse créé par le spot. L'amplitude des oscillations, toutes choses égales par ailleurs, ne dépend que de la valeur du couple de torsion et de l'amortissement du tube; comme ce dernier est très faible elles peuvent devenir considérables. Sur les tubes étudiés, l'amplitude des oscillations du spot sur une échelle placée à un mètre du miroir, atteignait facilement 40 à 50 centimètres, lorsque l'on établissait la résonance et réglait les courants à la valeurs qui donnait au couple sa plus grande amplitude. De plus, la résonance était très pointue par suite du faible amortissement de l'équipage oscillant.

Nous trouvons dans cet énoncé toutes les propriétés d'un bon galvanomètre à résonance et il y a lieu de penser qu'il doit être possible de réaliser un appareil de ce genre utilisant l'effet Wiedemann comme moteur. Nous allons donc rechercher les conditions auxquelles il doit satisfaire pour être d'un emploi pratique et d'une sensibilité suffisante.

Dans l'étude ci-dessus et pour des raisons théoriques, on a utilisé un champ continu et un courant axial alternatif; on a été conduit pour avoir un effet sensible à donner au courant axial une intensité de plusieurs ampères efficaces. Le maximum du couple se produisait pour un champ de 330 gauss avec l'éprouvette de nickel, et de 13 gauss dans le cas du tube de fer.

Sous cette forme, le dispositif serait d'un usage peu commode car on serait obligé, pour fournir le courant axial, de prélever au réseau à étudier une puissance importante. Il est préférable, en pratique d'utiliser un courant axial continu de quelques ampères, fourni par une batterie locale, et un champ alternatif; les résultats sont identiques tant que l'amplitude du champ longitudinal reste inférieure à la valeur qui correspond au maximum du couple. Dans le cas du fer, le maximum a lieu pour un champ de 13 gauss et il suffit de donner au champ longitudinal une amplitude de quelques gauss pour obtenir un couple très énergique; ces valeurs sont faciles à atteindre en alimentant le bobinage inducteur avec une puissance minime.

Le nickel est moins intéressant, car il nécessite un champ longitudinal plus intense (environ 20 fois plus grand que pour le fer) et le couple obtenu reste faible.

En pratique, on devra donc constituer le galvanomètre avec un tube de fer, aimanté circulairement par un courant continu et longitudinalement par un petit courant alternatif prélevé sur la source à étudier. Le tube devra être muni d'un dispositif mécanique, permettant de ré-

Digitized by Google

gler d'une façon continue sa fréquence propre d'oscillation et d'un miroir de contrôle.

Un appareil basé sur ce principe a été réalisé aux Laboratoires de la Radiotélégraphie militaire; il comprend essentiellement un tube de fer

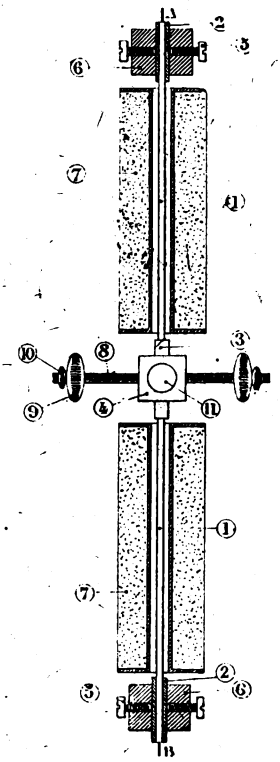


Fig. 14.

(fig. 14) de 50 cm de longueur, 2,6 mm de diamètre extérieur et 1,7 mm de diamètre intérieur. Ce tube est soudé à ses deux extrémités dans deux tubes de cuivre rigides (2) qui sont fixés dans les supports (6) et servent à réaliser un encastrement solide de l'éprouvette.

Au centre du tube de fer est soudé un autre tube de cuivre (3) sur lequel on vient fixer l'équipage (4), dont la descripion est donnée plus loin et qui a pour but de donner à l'ensemble une période propre d'oscillation appropriée. Le tube de fer est fixé solidement par ses deux extrémités dans un support massif et indéformable (6).

Autour de l'éprouvette et symétriquement à chacune des extrémités sont disposées deux longues bobines (7), destinées à aimanter le tube longitudinalement. Ces bobines sont enroulées en sens inverses de façon à produire au centre de l'éprouvette un pôle conséquent. Cette

Digitized by Google

disposition a pour but de donner aux couples magnétiques qui prennent naissance dans les deux moitiés du tube, des sens tels que leurs effets s'ajoutent.

Un fil isolé AB traverse le tube suivant l'axe et sert de conducteur au courant axial.

L'équipage (4) destiné à régler la fréquence des oscillations du tube comprend une tige filetée (8) perpendiculaire à l'axe du galvanomètre et sur laquelle se déplace à frottement dur deux masselottes (9) et des écrous de blocage (10), il a été réglé de façon à donner à l'ensemble une fréquence d'oscillation de 42 p : s environ.

Un miroir de galvanomètre (11) est collé sur l'équipage (4) et permet de contrôler les oscillations du tube à l'aide d'un spot se formant sur une échelle graduée.

Pour utiliser ce galvanomètre à résonance, on envoie dans le fil axial un courant continu de 5 ou 6 ampères, produit par un accumulateur, et on alimente les bobines (7) à l'aide de la tension alternative à étudier. On règle la résonance en déplaçant les masselottes (9) jusqu'à obtenir la plus grande amplitude des oscillations du tube.

Grâce à la grosseur du tube utilisé et à sa suspension par les deux extrémités, le galvanomètre à résonance qui vient d'être décrit est très robuste; comme il est en outre d'une construction simple et peu onéreuse, il constitue un appareil industriel par excellence. Sa sensibilité est un peu inférieure à celle des galvanomètres à résonance de laboratoire, mais elle est cependant très suffisante pour beaucoup d'applications. Avec l'appareil réalisé et qui vient d'être décrit, une différence de potentiel alternative de quelques centièmes de volts efficaces appliquée aux deux extrémités du bobinage inducteur est décelé par la vibration du spot lorsque le fil axial est parcouru par un courant de 6 ampères environ; comme l'impédance du bobinage est d'une cinquantaine d'ohms pour une fréquence de 42 p : s, la puissance à prélever sur la source à étudier est de l'ordre de quelques dixième de milliwatts.

Il serait peut-être possible d'améliorer la sensibilité, toutes choses égales par ailleurs, en modifiant la nature du métal constituant l'éprouvette ainsi que ses dimensions géométriques. En outre, on pourrait prévoir l'alimentation des bobines d'aimantation par l'intermédiaire d'un tube amplificateur et obtenir de ce fait, en même temps qu'une sensibilité bien supérieure, une réduction considérable de la puissance demandée au réseau étudié.

Digitized by Google

Choix du courant axial.

La valeur du courant axial continu, créant le champ circulaire doit être choisie de façon à donner au couple de Wiedemann sa plus grande valeur possible.

La théorie du premier chapitre va nous permettre de fixer l'ordre de grandeur optimum de ce courant. Nous avons vu, en effet, dans l'étude de la loi de variation du couple à champ constant et courant variable, que le couple passait par un maximum pour une certaine valeur du courant, telle que le champ circulaire moyen ait une valeur égale à celle du champ longitudinal qui donne au couple son amplitude maxima dans l'étude à courant constant et champ variable. Avec une éprouvette de fer ce champ doit être de 13 gauss; dans le cas du tube utilisé dont le rayon moyen est environ $r = 1$ mm, le courant optimum doit donc être :

$$I = \frac{10rC}{2} = 6{,}5 \text{ ampères.}$$

Cette intensité est facilement réalisable et il n'y a aucun intérêt à augmenter davantage sa valeur; l'expérience vérifie d'ailleurs cette conclusion.

Remarquons enfin que, si on utilise un acier susceptible d'une aimantation rémanente importante, il n'est même plus besoin de courant axial; dans ce cas en effet l'aimantation circulaire conserve une valeur suffisante pour que l'amplitude des oscillations soit pratiquement la même avec ou sans courant.

Digitized by Google

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Renouvellement partiel du Bureau et du Comité par l'Assemblée générale du 7 janvier 1928.

Le dépouillement du scrutin a donné les résultats suivants :

Suffrages exprimés	549
Bulletins nuls	8
Nombre de votants	557
Majorité	280

Sont élus :

Président pour l'exercice 1929 :

MM.

BUNET (Paul), Ingénieur Conseil 544

Vice-Présidents :

3e *Section (Electrochimie, Electrométallurgie, Piles, Accumulateurs)*

MARIE (Charles), Secrétaire général de la Confédération des Sociétés scientifiques françaises 545

5e *Section (Télégraphie, Téléphonie, Transmission par ondes)*

REYNAUD-BONIN (Eugène), Directeur de l'Exploitation téléphonique à Paris. 547

Secrétaire Général :

DARRIEUS (Georges), Ingénieur à la Compagnie Electro-Mécanique 546

Trésorier :

MEYER (Marcel), Directeur de la Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force 547

Secrétaires :

5e *Section (Télégraphie, Téléphonie, Transmission par ondes)*

COLLET (Louis-Joseph), Ingénieur des Télégraphes 547

6e *Section (Recherches physiques. Appareils de mesure)*

WAGUET (Philippe), Chef de travaux principal au Laboratoire Central d'Electricité 547

Digitized by Google

Membres :

pour trois ans

BACQUEYRISSE (Louis-François), Directeur général de l'Exploitation et des Services techniques de la S. T. C. R. P. 545
BETHENOD (Joseph), Ingénieur Conseil, Président sortant de la Section de Télégraphie-Téléphonie 547
BOSSU (Pierre), Ingénieur Conseil 546
CAHEN (Henri), Président du Syndicat Professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, Commissaire aux Comptes sortant ... 544
CARPENTIER (Jean), Administrateur délégué de la Société Ateliers J. Carpentier 541
CHAUMAT (Henri), Agrégé des Sciences physiques, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Président sortant de la Section d'électrochimie 545
CHAPPUIS (James), Président et Administrateur délégué de la Société des Forces Motrices d'Auvergne 543
DAGUERRE (H.-L.), Directeur de la Société Nord-Lumière 545
DELON (Jules), Directeur technique des Câbles de Lyon de la Compagnie générale d'Electricité 544
GORGE (Paul DE LA), Sous-Directeur adjoint du Laboratoire Central d'Electricité, Secrétaire sortant de la Section de Recherches Physiques 547
GOSSELIN (Jacques-Henri), Ingénieur des P. T. T. 546
LEMONNIER (Jean), Ingénieur principal à la Compagnie générale électrique de Nancy 546
MATHIVET (Jules), Ingénieur en Chef des Travaux du jour à la Compagnie des Mines de Vicoigne, Nœux et Drocourt 548
STIFFEL (Paul), Ingénieur en Chef du Génie maritime 545
THIELEMANS (Louis-Joseph-Pierre-Marie), Ingénieur à la Compagnie Française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston 546
TOULON (Pierre), Ingénieur Conseil, Ingénieur à la Société de Recherches et Perfectionnements industriels, Secrétaire sortant de la Section de Télégraphie 548

Commission des Comptes :

BACHELLERY (André), Ingénieur en Chef du matériel et de la traction aux Chemins de fer du Midi 549
VALBREUZE (Robert de), Administrateur délégué de la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage 548
SCHWARBERG (E.-G.), Directeur général de la Compagnie Electro-Mécanique. 548

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS

SOMMAIRE

1re Section. — Etudes sur les moteurs électriques de laminoirs, (M. Tautant), p. 79. — (M. Rieunier), p. 83. — (M. Jung), p. 84.

3e Section. — L'électrolyse aqueuse des chlorures acalins par les procédés à diaphragme (M. Sarrot du Bellay), p. 84. — Les Eclisses électriques (M. Lebaupin), p. 89.

4e Section. — La protection sélectives dans les réseaux, (M. Cornudet), p. 92. — (M. Fallou, p. 93. — (M. Iliovici, p. 97.

5e Section. — Définition d'une unité de radiation (M. Bethenod, p. 100. — Commande à distance d'une embarcation par T. S. F. (M. Chauveau), p. 101.

6e Section. — La loi d'induction, (M. Liénard), p. 101. — (M. Darrieus), p. 104.

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MECANIQUE DE L'ELECTRICITE.

Présidence de M. Girault.

Séance du 6 janvier 1928. — *Etude sur les moteurs électriques de laminoirs.* — M. Tautant, Ingénieur à la Société l'Electro-câble, comme suite au programme établi par M. Grivet [1], présente la note ci-après relative à l'installation d'un laminoir de cuivre à l'Usine d'Argenteuil de cette Société.

I. — Commande d'un laminoir irréversible a une seule vitesse.

Le laminoir à cuivre de l'Usine d'Argenteuil a été construit en 1913 par la Maison Chavanne-Brun, et comportait jusqu'en 1919, le matériel suivant :

1 cage ébaucheuse à cylindres de 400 mm de diamètre et 1 350 mm de longueur, tournant à 72 t : m;

1 train finisseur composé de 1 trio dégrossisseur 240 × 700 et 4 cages duo 240 × 540 tournant à 310 t : m.

(1) Bulletin de la S. F. E. de Décembre 1927, n° 76. (Travaux de la 1re Section, 1450.

Digitized by Google

La production en fil laminé de 7 mm rond partant de la « wirebar » 110 × 110 × 1,20 m de 120 kg, atteignait péniblement 16 tonnes en huit heures.

La commande de ce train était assurée par :

1 moteur triphasé asynchrone 5 500 V, 25 p : s, 485 t : m, 400 ch de la Compagnie Générale Electrique de Nancy, attaquant par poulie et courroie l'arbre du train finisseur. La liaison du train finisseur au train ébaucheur se faisant par poulie, courroie et poulie volant.

Le train finisseur était muni d'un volant en acier de 2,50 m de diamètre et de 3 tonnes de poids de jante.

La poulie volant de l'ébaucheur avait 4,70 m de diamètre et 8 tonnes de jante.

A vide le moteur absorbait 23 kW avec cos $\varphi = 0{,}33$ intensité 10 A, en charge normale l'on avait 310 kW avec cos $\varphi = 0{,}835$ intensité 40 A, en pointes instantanées l'on avait 420 kW avec cos $\varphi = 0{,}83$ intensité 55 A.

Ce moteur avait de fréquents claquages au stator, par suite des pointes élevées supportées.

Pour atténuer les pointes, il fut d'abord essayé :

1° 1 régulateur système « Thury » à encliquetage pour que le glissement obtenu provoque une chute de vitesse et que l'inertie des deux volants absorbe la pointe instantanée.

Ce régulateur d'un fonctionnement mécanique était toujours en retard et le glissement n'intervenait qu'une fois la pointe instantanée franchie; son emploi dut être abandonné;

2° un moteur plus puissant fut adopté et un moteur de série fut trouvé en 1918 et mis en route le 8 novembre 1919.

Moteur 550 ch, 5 500 V à 500 t : m, 25 p : s à 6 pôles avec paliers très hauts. Un accouplement Zodel fut interposé entre la poulie de commande et le moteur. A vide le moteur seul prenait 12,5 A, en marche normale 40 à 50 A, en pointes instantanées 72 A, le disjoncteur étant réglé pour cette limite d'intensité.

La production avec ce moteur plus puissant fut portée à 30 tonnes, en adjoignant trois cages au train finisseur.

Mais, par suite d'incidents dus à la fabrication, tels que fabrication de bronzes spéciaux à haute résistance, des claquages se produisaient au stator et même au rotor de ce moteur.

3° Pour palier d'urgence à ces inconvénients, 1 rhéostat de glissement de fortune fut réalisé. Il comportait trois éléments de résistance

Digitized by Google

métallique, connectés en étoile et immergés dans un bac à circulation d'eau.

Résistance d'un élément 0,04 ohm. Intensité en plein régime 470 A correspondant à un glissement supplémentaire de 6 pour cent sous le couple normal. Débit d'eau de refroidissement : 20 litres par minute.

On obtient ainsi les variations de vitesse suivantes : à 15 A 500 t : m, à 50 A 450 t : m, à 75 A 430 t : m. Aucun réglage n'était à faire, les câbles reliant les 3 charbons des 3 collecteurs du rotor au rhéostat de glissement furent prévus largement. La mise en marche eut lieu le 1er juin 1923 et l'ampèremètre enregistreur accusa entre la marche sans rhéostat et la marche avec glissement, une diminution très sensible des pointes et les disjonctions devinrent très rares. Par contre, la consommation d'énergie par tonne de cuivre laminé passa de 70 kW à 75 kW.

II. — Changement de fréquence de 25 à 50 périodes par seconde.

En raison de l'unification projetée du courant alternatif fourni par les centrales de la région parisienne, l'usine d'Argenteuil à la fin de l'année 1922, se trouva en présence de l'éventualité de porter le courant à une fréquence de 50 p : s. La question fut étudiée en accord avec le triphasé d'Asnières et l'Union d'Electricité.

Le moteur de secours de 400 ch fut abandonné. Le moteur de 550 ch, 25 p : s fut rebobiné à 50 p : s comme secours éventuel et la question d'un nouveau moteur fut étudiée et les diverses solutions suivantes envisagées.

A. *Solution courante.* — 1 moteur asynchrone triphasé 5 500 V. 50 p : s, type laminoir de 550 ch de puissance normale, vitesse de synchronisme (18 pôles) 333 t : m; couple maximum de deux fois le couple normal.

Attaque directe du train finisseur par manchon d'accouplement genre Zodel.

Rhéostat de démarrage et de glissement, non automatique, du type à résistance liquide et refroidissement par circulation d'eau. Glissement sous couple normal compris entre 5 et 15 pour cent. Démarrage en 1 minute sous couple des 2/3 du couple normal.

B. *Solution spéciale.* — Moteur asynchrone muni d'un compensateur de phase du type à stator pour glissement sous charge (système

Digitized by Google

Brown-Boveri par exemple), permettant de réaliser un cosinus φ élevé à partir du quart du couple normal.

C. *Solution spéciale.* — 1 moteur spécial compensé à variation économique de vitesse dans le rapport 2 à 3 par exemple. Cette solution comporte un moteur principal asynchrone identique à celui de la solution A monté en cascade avec un moteur auxiliaire à collecteur, qui effectue mécaniquement la récupération de l'énergie de glissement et assure en même temps la compensation partielle de l'énergie réactive du moteur principal. Le régime de vitesse à vide serait réglé entre 222 et 333 t : m et le moteur devrait présenter à tout régime de vitesse à vide compris entre ces deux vitesses limites un glissement de 10 pour cent sous couple normal.

La solution A fut adoptée, les autres solutions étant d'un prix beaucoup plus élevé.

Le nouveau moteur fut commandé à la Compagnie Electro-Mécanique et donna pleine satisfaction.

Rebobinage du moteur 550 ch 500 t : m de 25 p : s à 50 p : s.

Le moteur de 550 ch présentait un entrefer de 3 mm, il fut prévu qu'une fois rebobiné sa vitesse de rotation serait maintenue à 500 t : m avec une puissance normale aussi peu inférieure que possible à 550 ch. L'étude préliminaire faite par notre Ingénieur-Conseil, M. Nicol, indiqua que l'intensité à vide passerait de 12,5 A à 20,8 A le cos φ en charge de 0,89 à 0,78, la puissance normale de 550 ch à 480 ch, et le couple maximum de 2 fois à 1 fois 6 le couple normal.

Les essais effectués en février 1926, sur le moteur rebobiné à 50 p : s par la Société Française de Matériel Electrique ont donné les résultats suivants :

1° Rotor court-circuité, puissance active moyenne de 510 à 680 ch cos φ = 0,79 pointes 1 000 ch.

2° Rotor sur rhéostat de glissement, puissance active moyenne 470 à 610 ch cos φ = 0,80, pointes 860 ch.

Néanmoins, en raison des fortes productions demandées au laminoir, il a été constaté en fin de journée une température des bobines du stator de 64°C plus élevée que la température ambiante. Ce défaut a été combattu par une ventilation spéciale, énergique de tout le moteur et le fonctionnement normal de ce moteur comme moteur de secours est ainsi assuré.

Digitized by Google

III. — Extension en 1927 de la puissance de production du laminoir.

Pour porter à 60 tonnes par jour la production du train à fil et assurer la marche régulière à trois fils, l'usine d'Argenteuil a réalisé en 1927 l'extension de la commande des deux trains par moteurs séparés.

Le moteur 550 ch, 50 périodes, 5 500 V à 33 t : m de l'Electro-Mécanique entraînant directement le train finisseur, n'entraîne plus le train ébaucheur.

Un nouveau moteur asynchrone de 270 ch, 5 500 V, 50 p : s, 500 t : m de la Société Alsacienne, entraîne par courroie la poulie volant de l'ébaucheur dont la vitesse de rotation a été portée de 72 t : m à 95 t : m.

Ce moteur est muni d'un rhéostat de démarrage et de glissement et a donné entière satisfaction depuis six mois.

Conclusions. — La pratique nous a montré que dans l'attaque des laminoirs aucun moteur de secours n'est plus nécessaire si l'on adopte un moteur type laminoir de puissance appropriée et de bonne construction, muni d'un rhéostat de glissement.

Le glissement à obtenir sous couple normal doit varier de 5 à 10 pour cent suivant l'importance des volants utilisés et la nature particulière du travail de laminage à effectuer par le train intéressé.

« Les moteurs asynchrones ainsi utilisés ont suffisamment de souplesse pour assurer la commande d'un laminoir irréversible à une seule vitesse »; leur principal défaut réside dans leur forte consommation d'énergie réactive (cos φ moyen médiocre).

Pour cette raison, nous considérons que dans le cas particulier de laminage à passes longues, tel qu'il se présente pour le train finisseur d'un laminoir à fil, on pourrait adopter avantageusement la commande par moteur synchrone, dont le couple maximum peut atteindre une valeur suffisamment élevée pour éviter tout risque de décrochage, mais sous la double réserve toutefois que les pointes instantanées, ici très brusques et d'amplitude correspondant aux à-coups réels du laminage, soient tolérées par le secteur et que les surtensions engendrées par ces variations brusques ne viennent pas compromettre gravement la sécurité de marche de l'installation, et, en particulier, la conservation même des enroulements du moteur.

M. Rieunier, Ingénieur en Chef des Usines et sous-stations de la Compagnie Ouest-Lumière, présente, au sujet de la note M. Duber-

Digitized by Google

TRET sur le laminage des petits métaux (1) les observations suivantes :

Les lamineurs expliquent eux-mêmes l'apparente fantaisie qui semble avoir présidé au choix de leurs moteurs.

Il serait utile de pousser l'examen de la question, car l'adoption systématique de moteurs trop puissants ne se traduit pas seulement par l'augmentation des frais de premier établissement.

Il en résulte une consommation plus importante d'énergie active et une consommation plus que proportionnellement exagérée d'énergie réactive. Dans tous les cas, et spécialement dans celui d'achat de l'énergie à l'extérieur, cette augmentation de consommation est regrettable. Il semble donc que l'emploi du moteur asynchrone ordinaire soit à déconseiller pour ces applications, quelles que soient les simplifications que ce moteur apporte par ailleurs.

C'est pourtant lui qui est universellement employé dans la région parisienne. Il y a dans cette région un exemple d'installation importante, plusieurs milliers de kW, comprenant entre autres un moteur de 600 ou 700 ch, le facteur de puissance de *l'ensemble* étant automatiquement maintenu à la valeur 1 au moyen d'un alternateur surexcité et tournant à vide, avec relais.

M. DUBERTRET connaît certainement cette installation.

Il serait probablement intéressant de chercher s'il y a ailleurs des installations à courant continu, ou avec moteurs synchronisés, etc.

La diminution de la puissance des moteurs et l'augmentation de leur rendement pourraient atteindre des valeurs impressionnantes.

M. JUNG, Ingénieur à la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, fait une communication sur *l'état actuel de la commande des laminoirs irréversibles par moteurs à courant triphasé* (2).

3e SECTION

ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTROMÉTALLURGIE. — PILES. ACCUMULATEURS

Présidence de M. CHAUMAT.

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1927. — M. SARROT DU BELLAY fait une communication sur *L'électrolyse aqueuse des chlorures alcalins par les procédés à diaphragme*. — L'électrolyse de NaCl fournit de la soude

(1) Bulletin de la *Société Française des Electriciens* de Décembre 1927, n° 76. (Travaux de la 1re Section, p. 1453.

(2) Cette communication paraîtra in extenso dans un Bulletin ultérieur.

Digitized by Google

et du chlore. La soude a pour emplois : la fabrication de la soie artificielle, de la pâte à papier, du savon, des sels de Na. Au chlore se rattachent le blanchiment, les colorants organiques, les gaz asphyxiants.

M. SARROT DU BELLAY précise d'abord la signification de quelques expressions dont il va faire usage :

1° *Rendement électrolytique.* — Il exprime le rapport de la quantité de soude produite industriellement, à la quantité produite théoriquement par la même intensité.

2° *Rendement en puissance.* — Il est obtenu en multipliant le rendement électrolytique par le rapport de la tension théorique (2,3 V) à la tension mesurée.

3° *Pourcentage de décomposition.* — C'est le pourcentage du sel électrolysé.

Etude de la diffusion de la soude à travers les diaphragmes. — Cette diffusion est fonction du pourcentage de décomposition, de la température de l'anolyte et de celle du catholyte, ainsi que l'indique la figure 1.

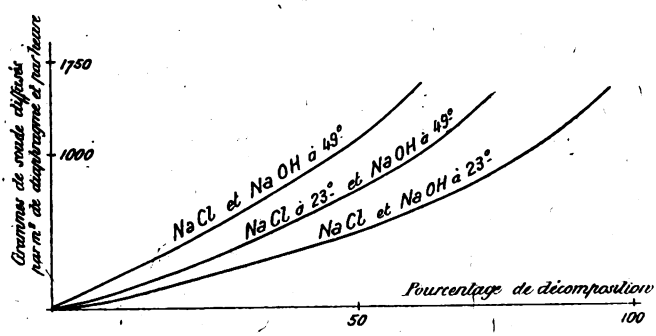


Fig. 1.

(Les mesures ont porté sur une solution initialement à 26 pour cent de NaCl. — Aucune pression statique d'une solution sur l'autre. — Diaphragme en papier d'amiante).

On atténuera évidemment la diffusion nuisible en maintenant dans le compartiment anodique un niveau supérieur à celui du compartiment cathodique. Dans la cellule Allen-Moore, on est allé à l'extrême limite de cette conception, puisque du côté cathodique on a réduit le niveau à zéro. La cathode est filtrante et appliquée sur le diaphragme (en papier d'amiante). Les anodes sont en graphite, substance qui résiste bien mieux que le charbon de cornues à l'oxydation par l'hypochlorite.

Digitized by Google

Influence de la vitesse de filtration sur le rendement électrolytique et sur le pourcentage de décomposition. — La figure 2 rend compte des phénomènes.

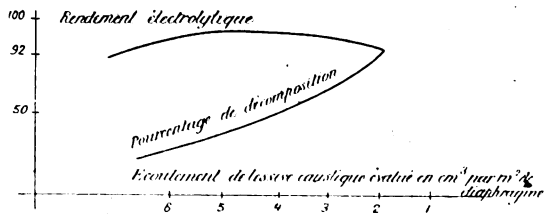


Fig. 2.

Influence de la pureté de la saumure. — 1° Les métaux : calcium, magnésium, fer, donnent naissance, sous l'action de l'électrolyse, à un dépôt d'hydrates qui colmate les diaphragmes.

Par exemple, si deux cellules exigeant à la mise en marche une tension de 3,3 V, sont approvisionnées, l'une avec de la saumure brute, l'autre avec de la saumure purifiée par CO^3Na^2, la première exigera 3,6 V au bout de 10 jours et l'autre 3,6 V au bout de 30 jours.

2° Les radicaux acides et notamment les sulfates détruisent rapidement les anodes en graphite.

Par exemple, si deux cellules sont alimentées, l'une avec une saumure contenant des sulfates, l'autre avec une saumure n'en renfermant pas, les graphites dureront pour la première 4 mois, et pour la seconde 16 à 18 mois.

Influence de la concentration de la saumure. — Une grande concentration produit un abaissement de la tension :

Concentration en pour cent de saturation	Abaissement de la tension
—	—
15 pour cent	0,00
35 pour cent	0,06
50 pour cent	0,18
65 pour cent	0,24
85 pour cent	0,28
90 pour cent	0,35

De plus, on consomme davantage de graphite avec une saumure faible, du fait d'une plus grande électrolyse de l'eau.

Influence de la température sur la vitesse de filtration. — La température accroît cette vitesse en augmentant la fluidité de la saumure.

Digitized by Google

Température de la saumure	Ecoulement en litres par heure
39°	11,7
47°	12,2
59°	14,8
71°	20.2

M. SARROT DU BELLAY décrit sommairement la cellule Allen-Moore classique et insiste sur le type récent (KML) moins connu. Dans le type ancien, les anodes ne travaillaient que sur une face. Dans le type récent, la cathode forme une caisse de tôle perforée qui entoure chaque anode sur 5 faces. *De là, résulte une diminution de la tension, de la densité du courant, de la consommation de graphite et de la consommation d'amiante.*

Caractéristiques d'une cellule Allen-Moore, fonctionnant à 1 500 A :

	Type Ancien	Type Récent
Chlore produit en 24 heures	43,7 kg.	43,7 kg.
Soude produite en 24 heures	49,3 »	49,3 »
Tension	4.2 V	3,6 V
Rendement électrolytique	⩾ 92 pour cent	⩾ 92 pour cent
Rendement en puissance	50,38 pour cent	59 pour cent
Densité de courant anodique (en ampères par pouce carré)	0,52	0,408

L'encombrement de la cellule KML est restreint et les fuites sont complètement supprimées.

Sur 128 cellules fonctionnant à 1 400 A pendant une année, les économies suivantes ont été réalisées :

Sur le graphite . . . . . $ 3.174
Sur la puissance . . . . . $ 6,727 avec le kWh à $ 0,01.

Electrolyse du chlorure de potassium. — L'électrolyse du KCl est *à priori* plus intéressante que celle du NaCl puisque pour une même consommation de kWh on produit 56 de KOH pour 40 de NaOH. De plus, la potasse étant plus coûteuse que la soude, on fera, avec une immobilisation d'installation donnée, un chiffre d'affaires plus élevé en fabriquant KOH.

Mais il faut tenir compte des besoins du marché commercial qui sont larges pour la soude et relativement faibles pour la potasse. Néanmoins, étant donné les facilités d'approvisionnement en KCl depuis le retour de l'Alsace dans la communauté française, nous ne doutons pas qu'on électrolysera en France de plus en plus de KCl.

Digitized by Google

Au point de vue technique, la fabrication est sensiblement la même. Quelques considérations méritent cependant d'être développées.

1° Le KCl livré par les mines d'Alsace est, en général, exempt de sels de Ca et de Mg, et il ne contient pas de sulfates en quantités appréciables, ce qui permet de supprimer l'installation de purification des saumures.

2° La solubilité de KCl, dans l'eau, varie avec la température, tandis que celle de NaCl est sensiblement constante. Il y aura donc avantage à dissoudre le KCl à chaud pour faire circuler dans la cellule le plus grand poids possible de sel. Dans la pratique, on prépare une saumure saturée à une température au moins égale à 30° C.

3° La tension, pour une même concentration moléculaire, est moindre avec KCl qu'avec NaCl.

En réponse à des questions de M. FÉRY, M. SARROT DU BELLAY précise que le chlore, aspiré par un ventilateur en fer goudronné est collecté dans une canalisation en grès, séché dans une colonne à SO^4H^2 concentré et liquéfié par des compresseurs graissés à l'acide sulfurique.

M. MARIE demande l'origine des diaphragmes. M. SARROT DU BELLAY répond qu'ils sont importés des Etats-Unis. Il faut de l'amiante à très longues fibres (qui provient du Canada). On ne fabrique en Europe que du papier d'amiante de qualité inférieure (à fibres courtes) et malgré le cours du dollar, le papier d'amiante américain est le plus économique.

En réponse à une question de M. CHAUMAT, M. SARROT DU BELLAY confirme que l'électrolyse du KCl paraît se développer. Trois usines ont été récemment montées, dont la dernière chez Kuhlmann, à Loos.

M. CHAUMAT fait observer, en passant, que l'un des arguments donnés par M. SARROT DU BELLAY, en faveur de l'électrolyse du KCl, ne peut guère être considéré comme valable. Les poids de KOH et de NaOH obtenus sont bien dans le rapport de 56 à 40. Mais le pouvoir d'alcalinisation de 56 de KOH est exactement le même que celui de 40 de NaOH.

M. DELTON signale que la soude produite par la cellule Allen-Moore contient une proportion appréciable d'hypochlorite, ce qui détériore assez vite les appareils de concentration. M. SARROT DU BELLAY déclare que ce reproche n'est pas fondé et que les appareils Allen-Moore ne donnent lieu, de la part des usagers, à aucune plainte de cette nature.

M. CHAUMAT expose que M. LEBAUPIN, Directeur du Laboratoire Elec-

Digitized by Google

trotechnique des Chemins de fer de l'Etat, a eu l'occasion d'étudier de près l'importante question de l'éclissage électrique des rails de roulement et d'y apporter une contribution personnelle de premier ordre.

Quand les rails de chemins de fer ou de tramways servent de conducteurs de retour, si les joints ne sont pas aussi peu résistants que possible, il en résulte pour les conducteurs souterrains voisins (conduites d'eau ou de gaz par exemple) de grands dangers de détérioration par suite de phénomènes d'électrolyse.

Ce sont là des phénomènes qui sont familiers aux membres de la 3e Section, et c'est à ce titre que la question de l'éclissage électrique des voies ferrées méritait d'être évoquée devant la Section d'Electrochimie de la Société Française des Electriciens.

M. LEBAUPIN présente une communication sur les *éclisses électriques*.

Dans l'électrification des voies ferrées, une très importante question est celle qui est relative aux dangers de l'électrolyse. Pour les éviter, il est indispensable que les rails de roulement soient connectés électriquement les uns aux autres d'une façon aussi parfaite que possible.

Bien des dispositifs ont été utilisés jusqu'à ce jour ; mais ils n'ont généralement pas donné complète satisfaction. Dans le cas contraire, le résultat n'a été acquis que grâce à une dépense d'acquisition et d'entretien très importante.

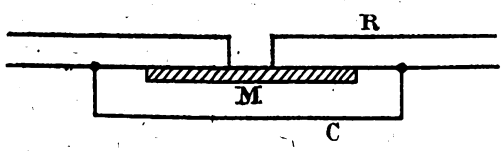


Fig. 3.

La résistance ohmique d'un joint de rail est difficile à définir, car elle est la résultante des résistances propres d'une certaine longueur de rail R, de l'éclisse mécanique M et de la connexion électrique C (fig. 3). Si l'on considère seulement l'éclisse mécanique M et l'éclisse électrique C, la résistance J du joint peut s'écrire :

$$J = \frac{CM}{C+M}$$

De plus, si l'éclisse mécanique ne remplit aucun rôle au point de vue électrique, cela revient à dire que sa résistance ohmique est pratiquement infinie. Dans ce cas, la résistance du joint J se réduit à la

Digitized by Google

résistance C de l'éclisse électrique qui comprend à la fois celle du câble en cuivre et celle des contacts. Si la première est facile à déterminer, la seconde est pratiquement impossible à obtenir.

C'est pourquoi, dans la pratique, on a été amené à prendre comme résistance d'un joint, la résistance d'une longueur de 1 mètre de rail comprenant le joint. C'est donc, en réalité, la résistance de l'ensemble complexe comprenant partie de rail, éclisse mécanique et éclisse électrique. On exprime alors la résistance trouvée à l'aide du nombre de mètres de rail de résistance équivalente.

Examinons le cas pratique d'un joint correspondant à un rail de 44 kg au mètre, ayant une section de 56 cm² et une résistivité de 17 et comportant deux connexions de 1,50 m chacune, réalisée au moyen d'un câble de 200 mm² de section.

On trouve :

Eclisse cuivre	C =	127 michroms
1 m rail	R =	30 —

La résistance d'une connexion simple est donc équivalente à celle de 4,20 m de rail et celle des deux connexions en parallèle est équivalente à 2,10 m de rail.

Si donc l'éclisse mécanique n'intervient pas au point de vue électrique, on doit avoir comme on l'a vu : J = C = 2,10 m. Or, l'expé-

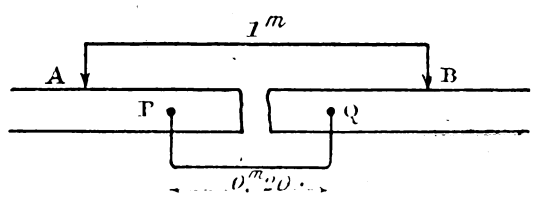


Fig. 4.

rience a montré qu'avec les éclisses ordinaires (éclisses électriques sous éclisses mécaniques; éclisses extérieures fixées à l'aide d'un coin conique en acier, etc.), cette valeur n'était généralement pas atteinte, les valeurs trouvées étant 3 m, 5 m, 10 m et plus, lorsque l'éclissage était effectué depuis quelque temps. Mais comme l'éclisse mécanique, même défectueuse au point de vue électrique, ne peut qu'améliorer la valeur du joint, il faut en déduire que c'est le contact de l'éclisse électrique qui augmente la valeur du joint. C'est donc le principe de fixation des éclisses électriques qui est mauvais.

L'expérience a également montré que les éclisses mécaniques donnaient des résultats variables et généralement mauvais, la résistance

Digitized by Google

ohmique étant comprise fréquemment entre 10 m, 20 m, 100 m et plus, c'est-à-dire pratiquement infinie pour ces dernières valeurs. Il ne faut donc pas compter sur cet organe pour améliorer la résistivité des joints de rails.

Ces considérations ont conduit à réaliser des connexions électriques en cuivre serties dans des cosses en acier qui sont soudées électriquement au rail en acier. Malheureusement, cette opération exige un temps assez long et une température élevée. Une modification de la composition du métal du rail est à craindre à l'endroit de la soudure, ce qui pourrait occasionner une cassure. Comme précisément des cassures se sont produites sur des lignes électrifiées, en des endroits où le système avait été utilisé, ce dernier a été fortement discrédité.

Depuis longtemps, j'avais pensé que la solution la meilleure serait de souder directement la connexion en cuivre à l'acier du rail, mais des essais tentés n'avaient pas donné de bons résultats. La question ayant été reprise en 1925, j'ai pu réaliser la soudure de 18 connexions en câble de cuivre de 183 mm² de section chacune (une seule par joint) et de 0,40 m de long ou un rail Vignole Standard de 46 kg ayant une section de 59 cm² . Les résistances respectives du câble, de la connexion électrique et de 1 m de rail étaient :

$$C = 37 \text{ microhms}$$
$$R = 29 \quad —$$

Le câble de la connexion électrique avait donc une résistance équivalente à 1,30 m de rail. On voit, d'après les indications de la figure 5,

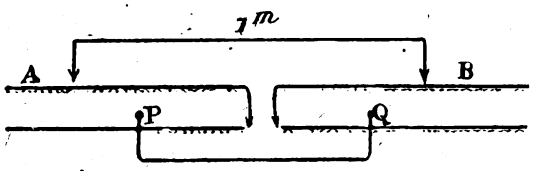


Fig. 5.

que si on laisse de côté l'éclisse mécanique on ne doit pas — la soudure devant donner une résistance au contat nul — trouver pour l'éclisse électrique une valeur C supérieure à $1,30 + 0,80 = 2,10$ m.

Or les mesures ont donné des chiffres compris entre 1 m et 1,50 m. C'était là un résultat excellent.

Les soudures avaient été réalisées très facilement et leur exécution n'avait pas demandé une durée de plus de 30 secondes. Il en résultait, qu'à l'endroit de la soudure, la température du rail était très

Digitized by Google

faible et que les dangers de rupture n'étaient pas à craindre. D'ailleurs, ces connexions se sont montrées extrêmement solides et les rails se sont aussi bien comportés aux endroits des soudures qu'aux autres endroits.

La question économique présente également une importance considérable. C'est ainsi qu'une éclisse électrique du système ancien coûtant en place 69 francs pouvait être remplacée par une éclisse soudée revenant à 24 fr 60.

La soudure permet, en outre, d'utiliser toutes les anciennes éclisses électriques hors d'usage et de réaliser ainsi des économies considérables, en évitant l'acquisition de nouvelles éclisses.

On peut conclure de ce rapide exposé, combien serait intéressante l'extension de ce système sur les lignes électrifiées.

M. BUNET signale l'importance générale de la question des résistances de contact. Elle se pose à propos de problèmes très différents en apparence de celui qui vient d'être traité, et par exemple dans l'installation des fours électriques. Le seul moyen d'assurer un bon contact entre pièces de fer consiste à les cuivrer. Ce cuivrage ne doit pas être effectué par le procédé Schoop et l'électrolyse réussit mal. On obtient de bons résultats en promenant au-dessus de la pièce un morceau de cuivre, de manière à faire jaillir des étincelles entre celui-ci et le fer (tension continue de 10-15 V).

4e SECTION. — CANALISATIONS. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. TRACTION.

Présidence de M. DAGUERRE

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1927. — *La protection sélective dans les réseaux* (MM. CORNUDET, FALLOU et ILIOVICI).

COMMUNICATION DE M. CORNUDET.

M. CORNUDET expose qu'avant d'aborder le problème de la sélection, il y a lieu pour l'exploitant de s'entourer de toute la sécurité désirable et que le premier point est intimement lié au second.

Au point de vue de M. CORNUDET, l'exploitant a tendance à négliger la surveillance des organes essentiels destinés à assurer la protection, c'est-à-dire la vérification des disjoncteurs dans l'huile, transformateurs d'intensité, bobines de déclenchement, câblages et enfin le fonctionnement des relais, qui s'impose au moins une fois par an.

Digitized by Google

Si, en agissant auprès des exploitants, on parvient à obtenir de ceux-ci que les conditions de sécurité sus-énoncées soient remplies, le problème de la sécurité se trouve singulièrement simplifié.

Pour les alternateurs et les transformateurs dans les usines génératrices, les systèmes modernes de protection différentielle offrent une sécurité et une sensibilité largement suffisante.

Pour les grands réseaux d'interconnexion, il serait extrêmement avantageux de pouvoir constituer ces réseaux par des lignes en parallèle qui se prêtent à l'établissement de protections différentielles sans fil pilote extrêmement avantageuses.

Le cas le plus difficile est celui des réseaux secondaires à mailles, alimentés en plusieurs points. M. CORNUDET indique que les relais directionnels à maxima temporisés, utilisés le plus souvent dans ces réseaux, nécessitent fréquemment la modification des caractéristiques de réglage quand la constitution ou l'alimentation du réseau change. Ces modifications peuvent cependant souvent être faites par le personnel de service dans les différents postes ; dans certains cas, on peut aussi envisager d'effectuer automatiquement les changements correspondants, mais ce n'est pas toujours possible.

Enfin, M. CORNUDET indique qu'il semble que les conditions d'essais à la masse du matériel électrique, bien plus rigoureuses dans certains pays étrangers qu'en France (en Suède 2U + 10 000 V) entraînent comme conséquence des accidents moins fréquents, ce qui réduit un peu les exigences en ce qui concerne la sélection des dispositifs de protection.

COMMUNICATION DE M. FALLOU

Après avoir rappelé l'importance croissante de la sécurité dans les distributions, en présence des puissances de plus en plus grandes mises en jeu, M. FALLOU expose les conditions impératives auxquelles un système de protection doit satisfaire :

a) Nécessité d'assurer en toutes circonstances un service continu, c'est-à-dire d'alimenter chaque centre de distribution simultanément par plusieurs lignes, le système de protection devant être capable d'éliminer la ligne devenue mauvaise, et elle seule.

b) Le système de protection pouvant être affecté, soit à un réseau de distribution, soit à l'interconnexion de centrales (c'est-à-dire l'énergie n'y étant définie ni en grandeur ni en direction) doit être indépendant du nombre et de la position des centrales interconnectées.

Digitized by Google

c) Le système doit avoir une action instantanée et l'élimination d'une partie de ligne mauvaise doit demander au maximum une demi-seconde, de façon que les perturbations apportées par la puissance dépensée dans un court-circuit et par les chutes de tension que provoque ce court-circuit, soient aussi courtes que possible.

d) Le système doit fonctionner en cas de défaut, même si les courants de défaut n'atteignent pas la valeur du courant maximum admissible dans la ligne.

e) Le système doit enfin rester inactif en cas de surcharge proprement dite.

Ces cinq conditions sont réalisées par les systèmes différentiels à fils pilotes et leurs dérivés, et par les systèmes différentiels par lignes en parallèle, le problème le plus difficile à résoudre restant la protection d'un réseau à une seule file de lignes non pourvu de fils pilotes et alimenté en plusieurs points.

Emploi des composantes symétriques.

Tout défaut à la terre ou entre phases crée une dissymétrie des courants et de la tension ; on aura donc toujours avantage à appliquer aux relais, non pas les courants ou les tensions, mais leurs composantes monophasées ; en régime stable, les relais ne seront parcourus par aucun courant et leur sensibilité pourra être poussée très loin : les composantes ont une valeur maximum à l'endroit du défaut, les chutes de tension du fait du court-circuit n'interviennent plus ; enfin, ce genre de montage ne nécessite qu'un seul relais.

Suivant les cas de lignes aériennes, de câble triphasés ou monophasés, les composantes des tensions et des courants seront utilisées par des montages simples appropriés.

Protection différentielle par fils pilotes.

Ces systèmes, dérivés plus ou moins du dispositif Merz-Price, agissent sur des relais dès que les courants aux deux bouts d'une ligne ne sont pas équivalents. Le montage courant consiste à utiliser, non pas les intensités secondaires des transformateurs d'intensité, mais les tensions aux secondaires fonction du courant primaire.

Quand la ligne pilote est longue, sa capacité est compensée par un procédé quelconque.

Avec ce système, on peut utiliser la tension résultant de la différence des courants de la même phase ou leur composante de déséquilibre (système Ferranti Hauwkins).

Digitized by Google

Si les systèmes différentiels présentent l'avantage d'être d'un fonctionnement instantané et d'éliminer par les deux bouts une ligne mauvaise, leur grave défaut, par contre, est de nécessiter la présence de fils pilotes qu'il y a lieu d'autre part de soustraire aux effets d'induction créés par la ligne principale.

Systèmes différentiels individuels.

Ces systèmes sont réalisés en utilisant des lignes de construction spéciale dérivant des dispositifs à fils pilotes. Le type de ce mode de protection est le système Pfannkück, dans lequel chaque conducteur se subdivise en trois conducteurs isolés concentriques, le conducteur central étant nu, les deux autres avant leurs conducteurs élémentaires isolés. Ces conducteurs en parallèle à chaque extrémité du câble passent par des transformateurs d'intensité alimentant les relais.

Ce système très sensible, n'est applicable qu'à des lignes spécialement construites, mais ne peut être appliqué aux lignes aériennes ou aux lignes existantes.

Protection différentielle des feeders en parallèle.

Ce système repose sur la comparaison permanente à chaque instant des intensités parcourant les câbles : trois types de systèmes existent :

a) Le système américain, dit « balancé » se schématise par exemple dans le cas de deux lignes en parallèle par un relais ampèremétrique différentiel dont chacun des enroulements est parcouru par un courant proportionnel à l'une des deux lignes ; l'armature du relais entre en mouvement dès qu'une différence se manifeste et provoque la coupure de la ligne parcourue par le courant maximum. Cependant, dans le cas général, où une des sources alimentant les lignes aux deux extrémités est volontairement ou accidentellement sectionnée, il est nécessaire de substituer au montage ampèremétrique un montage wattmétrique directionnel.

b) Un second type de protection a été imaginé par MM. Dupuis et Tinel et est appliqué à la protection d'une partie du réseau de l'Union d'Electricité; il est applicable à la protection de la marche en parallèle d'un nombre quelconque de câbles, quelles que soient leur constitution et leur longueur. Ce système est basé sur le principe suivant :

Quand plusieurs feeders sont connectés en parallèle et qu'un défaut se manifeste dans le réseau, il circule dans tous les feeders une composante inverse ou monophasée de la puissance qui semble provenir du point où s'est créé le déséquilibre. La sélection repose sur la diffé-

Digitized by Google

renciation du sens de la puissance dans les différents feeders en parallèle et ne nécessite, par feeder, qu'un seul relais wattmétrique instantané, actionné par les composantes inverses ou monophasées de la puissance. Ce système semble très élastique, car il permet d'augmenter ou de réduire le nombre de feeders en parallèle sans aucune modification. Il sera d'ailleurs étendu à la protection de l'ensemble du réseau de l'Union d'Electricité. Le seul inconvénient qu'il présente est que la coupure des deux disjoncteurs isolant le feeder avarié n'est pas simultanée, le second n'entrant en fonctionnement qu'après ouverture complète du premier.

c) Un dernier type connu de protection différentielle repose sur la présence de compteurs installés à chaque extrémité des câbles et tournant à la même vitesse, fonction de la puissance débitée ; ces compteurs, liés entre eux par un dispositif différentiel, provoquent l'ouverture d'un disjoncteur dans l'huile quand la vitesse du compteur correspondante est supérieure à celle des autres.

Protection par relais d'impédance.

Quand le système à fil pilote n'est pas réalisable et qu'on est en présence d'un réseau bouclé à une seule ligne, le relais d'impédance, bien que n'étant pas instantané, semble être le seul à pouvoir assurer une protection.

On utilise pour cela des relais dont la constante de temps est sensiblement proportionnelle à l'impédance du tronçon de ligne à protéger, donc à la distance comprise entre le relais et l'endroit du défaut.

Le fonctionnement de deux relais voisins et en série étant différé de une demi-seconde, ce système présente l'inconvénient de ne pouvoir s'adapter au montage sur les composantes de déséquilibrage; un autre inconvénient grave est de nécessiter une temporisation ou un fonctionnement en cascade pour éviter des déclenchements intempestifs; enfin, il est nécessaire d'utiliser des transformateurs d'intensité dont le rapport de transformation reste exact en régime troublé.

M. Fallou termine en concluant que les efforts réalisés dernièrement permettent d'apporter une solution à tous les problèmes de la protection, mais qu'il restera toujours à l'exploitant le soin de faire, parmi tous les systèmes connus, le choix de l'un d'eux qui satisfera aux conditions d'exploitation, chaque cas étant en quelque sorte un cas particulier.

M. Villiers expose ensuite un système très simple de protection sélective appliqué à l'Ouest-Lumière. Ce système, dû à M. Claux, est

Digitized by Google

basé sur le principe suivant : les circuits secondaires des transformateurs d'intensité alimentent les bobines de déclenchement, des disjoncteurs sont court-circuités par des fusibles convenablement calibrés. M. Villiers signale que ce système donne actuellement pleine satisfaction.

Communication de M. Iliovici

M. Iliovici fait remarquer que la communication de M. Fallou se rapporte plus particulièrement à la protection d'une distribution par câbles souterrains qu'à une distribution en lignes aériennes, et que le fait de couper trop rapidement les installations sur lesquelles se produit un court-circuit, peut entraîner des arrêts gênants du fait que, dans les lignes aériennes, par exemple, les court-circuits sont généralement passagers. Le constructeur doit envisager tous les cas susceptibles de se produire sur des installations de natures très différentes. La question de la protection vue par un constructeur devient donc très complexe et peut se résumer de la façon suivante :

1° Protection par relais à maximum à temps constants ou à temps limités (relais sélectifs), ceux-ci pouvant être combinés à des relais à retour de puissance.

2° Protection différentielle.

3° Protection basée sur un déséquilibrage des tensions, courants ou puissances.

4° Protection par relais d'impédance ou de chutes de tension.

5° Systèmes de protection mixtes.

1° *Protection par relais à temps constants ou à temps limité.* — Parmi ces appareils, le relais à *temps limité* semble le plus intéressant, car sa temporisation diminue avec l'intensité du courant qui le traverse; ces relais se divisent en deux catégories : les relais dans lesquels le temps devient constant à partir d'une certaine intensité du courant (relais 151 de la Compagnie des Compteurs) et ceux dans lesquels le temps décroît toujours même pour une intensité de courant de 20 à 40 fois celle du courant normal (relais R. S. 4 de la Compagnie des Compteurs). Dans ce relais, on obtient un allongement de la courbe du temps dans le sens des abscisses (temps) grâce à l'emploi d'un transformateur à fuites; d'autre part, le courant dans le relais et le couple agissant sur l'équipage mobile restent modérés, même pour les court-circuits très forts. Le temps, pour un court-circuit de

Digitized by Google

l'ordre de 40 à 50 fois le courant normal peut être supérieur à 2 secondes.

Dans le cas de feeders en parallèle, la protection doit être complétée par des relais instantanés à retour de puissance installés aux extrémités des feeders les plus éloignés de l'usine; ces relais doivent être extrêmement sensibles et pour tenir compte des particularités du court-circuit, chaque élément de relais doit avoir son circuit « intensité » parcouru par le courant ou une fraction du courant de l'un des fils de la ligne et son circuit volts dérivé entre les deux autres fils (disposition adoptée par la Compagnie des Compteurs). On s'arrange d'autre part de façon que le couple maximum des relais ait lieu lorsque le courant est déphasé d'environ 40° en arrière sur la différence de potentiel correspondante.

Dans le cas des réseaux bouclés, on combine les dispositifs précédents avec des relais doubles qui se composent, en principe, d'un relais wattmétrique et d'un relais ampèremétrique à *temps limité*, enclenchés tous deux d'une façon appropriée.

2° *Protection différentielle.* — a) *Protection avec fils pilotes.* — Ce système dérivé du Merz-Price est réalisé par la Compagnie des Compteurs sur le principe des oppositions des tensions fournies par les secondaires de transformateurs de courant installés et chaque extrémité de la ligne et débitant sur des résistances appropriées. Pour la protection des transformateurs, on emploie de préférence le système à opposition de courants avec auto-transformateur de réglage. Pour la protection des alternateurs, la Compagnie des Compteurs emploie un transformateur spécial dit « équipotentiel », dont le circuit magnétique cuirassé comprend trois enroulements secondaires, dont deux sur les noyaux extérieurs alimentent un relais normalement parcouru par aucun courant. Le troisième enroulement, qui sert au réglage de l'induction dans le circuit magnétique, peut, d'autre part, alimenter les appareils de mesure ou des relais à maximum, etc.

b) *Protection sans fils pilotes.* — Dans ces systèmes, on oppose les courants ou la puissance de feeders en parallèle. Les relais construits par la Compagnie des Compteurs sont ampèremétriques directionnels ou wattmétriques. Quand la protection porte sur plus de trois feeders en parallèle, on adopte un montage « étoile » des secondaires de transformateurs montés sur les fils en parallèle; les relais réunissant les sommets de l'étoile du même potentiel ne sont normalement parcourus par aucun courant. En cas de court-circuit sur une des lignes, le potentiel du sommet correspondant étant différent de celui

Digitized by Google

des sommets voisins, provoque l'ouverture du disjoncteur intéressé.

La protection différentielle réalisée par l'Union d'Electricité paraît être actuellement la plus intéressante.

3° *Protection basée sur un déséquilibrage.* — Tout court-circuit produit un déséquilibrage des courants des puissances et des tensions, faisant apparaître les composantes inverses et résiduelles ou asymétriques. Ces composantes peuvent alimenter des appareils susceptibles de ne fonctionner qu'en cas de court-circuit. La composante asymétrique est obtenue dans le cas des courants, en faisant passer dans le relais la somme des trois courants et, dans le cas des tensions, par la création d'un point neutre artificiel relié à la terre par l'intermédiaire du circuit « volts » du relais.

Les composantes inverses s'obtiennent généralement par l'emploi de filtres constitués de résistances et de réactances appropriées. Ces filtres étant d'un réglage délicat, la Compagnie des compteurs réalise le filtrage des composantes dans l'appareil lui-même. Ainsi pour obtenir la composante inverse d'une puissance on emploie une méthode basée sur le principe suivant :

La puissance P d'un circuit triphasé peut s'écrire $P = P + P_i$ (Composante directe + composante inverse). Cette puissance peut être mesurée à l'aide de 3 wattmètres montés convenablement. Si on monte 3 wattmètres de façon que chaque élément ait son circuit « ampères » sur une phase et son circuit « volts » dérivé entre les deux autres et en s'arrangeant de façon à rattraper le déphasage entre les courants et les tensions, on mesurera une grandeur

$$P_1 = P_d - P_i.$$

En faisant agir dans des sens appropriés les deux systèmes sur un même équipage, on obtient : $P - P_1 = 2P_i$, c'est-à-dire la composante inverse de la puissance.

4° *Protection par relais d'impédance.* — L'utilisation des relais ordinaires pouvant amener à un temps de fonctionnement trop grand quand le court-circuit se produit au voisinage de l'usine, on a été amené à envisager l'emploi de relais dont le temps de fonctionnement est proportionnel à l'impédance comprise entre le relais et l'endroit du défaut; l'appareil le plus intéressant semble être le relais Westinghouse.

On doit employer 3 pôles pour la protection d'un réseau à neutre isolé et 6 si le neutre est à la terre.

La Compagnie des compteurs a réalisé un relais d'impédance éga-

Digitized by Google

lement basé sur le déséquilibrage, il se compose, en principe, de deux disques liés par un ressort; le disque portant le contact est soumis à un couple proportionnel à $U_d^2 - U_i^2$ (U_d composante directe, U_i composante inverse des tensions), ce couple tend à empêcher le contact de se produire. L'autre disque est soumis à un couple proportionnel à la puissance inverse P_i ou à la puissance résiduelle P_r et tend à fermer le contact. On démontre que le temps de fonctionnement d'un tel relais est proportionnel à $\frac{U_d^2 - U_i^2}{P_i \text{ ou } P_r}$ d'autre part, $U_d^2 - U_i^2$ est proportionnel à la valeur de la tension défectueuse; cette quantité est donc nulle à l'endroit du défaut. On n'a besoin que d'un relais pour la protection d'un circuit triphasé à neutre isolé et de deux si le neutre est à la terre.

Conclusion. — En pratique, à chaque mode de distribution, ou réseau, correspond un système de protection approprié; toutefois, dans ses grandes lignes, la protection se résume de la façon suivante :

— Pour les réseaux d'importance moyenne, ou les ramifications secondaires des grands réseaux : protection par relais à maximum de courant et à temps limité (relais sélectifs).

— Dans les feeders principaux, et quand ceux-ci doivent fonctionner en parallèle : emploi du dispositif imaginé par l'Union d'électricité, complété par une protection à temps limité.

Si la marche en parallèle n'est pas la marche normale : emploi de relais d'impédance basés sur le déséquilibrage.

— Pour les lignes souterraines on peut aussi employer la protection différentielle, avec fils pilotes.

— Pour la protection des transformateurs : emploi de la protection différentielle par fils pilotes; pour la protection des machines; protection différentielle avec emploi de transformateurs « équipotentiels ».

5e SECTION. — TÉLÉPHONIE — TRANSMISSIONS PAR ONDES.

Présidence de M. Reynaud-Bonin.

Séance du 25 novembre 1927. — *Définition d'une unité de radiation.* M. Bethenod communique une proposition formulée par le Conseil de l'Union Internationale de radiophonie à sa Réunion de Côme du 26 septembre 1927 : cette proposition tend à définir les émissions d'ondes par leur fréquence et à adopter, comme unité fondamentale la fréquence d'une période par seconde, qui porterait le nom de « Hertz ».

Digitized by Google

Pratiquement en radiophonie, on utiliserait le « Kilohertz ».

Il est donné lecture d'une lettre par laquelle M. BLONDIN demande que cette proposition soit soumise d'abord au Comité électrotechnique français et par celui-ci à la Commission électrotechnique internationale, l'adoption définitive devant d'ailleurs être réservée à la Conférence internationale des poids et mesures.

Après examen la Section décide :

1° de confirmer l'avis qu'elle a antérieurement émis à savoir qu'il est préférable de définir les émissions par leur fréquence plutôt que par leur longueur d'onde;

2° d'exprimer l'avis qu'elle ne voit pas d'avantage à désigner par le nom de « Hertz » la fréquence d'une période par seconde et de prier les délégués de la Société Française des Electriciens auprès du Comité Electrotechnique français, d'y défendre cette manière de voir.

M. CHAUVEAU résume une communication sur *la Commande à distance d'une embarcation par T. S. F.* (1).

6e SECTION. — RECHERCHES PHYSIQUES

Président M. LIÉNARD

Séance du 19 novembre 1927. Discussion sur « La loi d'Induction ». (suite à la Communication présentée par M. BUNET à la semaine d'octobre 1927.

M. LIÉNARD examine la question suivante :

Peut-on représenter les forces électromotrices d'induction produites par un champ variable comme résultant de la déformation des lignes d'induction considérées, pour les besoins de la cause, comme possédant une certaine individualité.

1° La réponse est affirmative dans le cas simple d'un courant circulaire C d'intensité variable I. Soit Oz l'axe du courant : le champ est de révolution autour de Oz et toutes les lignes d'induction (milieu isotrope homogène), telles que D, sont dans des plans méridiens passant par Oz. Il suffit pour satisfaire aux conditions du problème, de supposer que chaque ligne d'induction se déplace, lorsque l'intensité I varie, dans le plan méridien qui la contient et de telle sorte que le flux à l'intérieur de la circonférence engendré par la rotation de n'importe quel point de D autour de O reste invariable.

(1) Communication publiée in-extenso dans le *Bulletin* de Décembre 1927, p. 1410.

Digitized by Google

2° Prenons maintenant un cas dont l'intérêt m'a été signalé par M. HADAMARD. Il diffère du précédent simplement par l'adjonction d'un courant indéfini I le long de O (on peut, sans changer les résultats, fermer le courant I à distance finie par une nappe de courant de révolution de façon à éviter les difficultés du courant indéfini) :

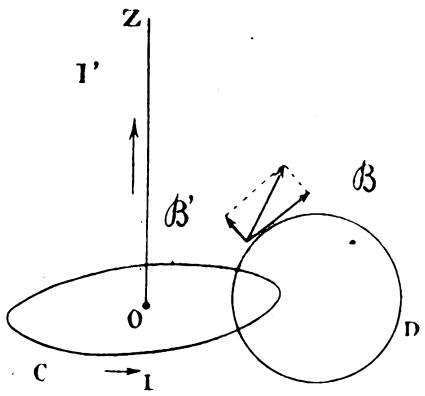


Fig. 1.

Soit D, comme tout à l'heure, une ligne d'induction plane du champ produit par le courant I supposé (seul). Cette ligne est nécessairement fermée en raison de la symétrie du champ par rapport au plan du courant circulaire C.

Soit S, la surface, ayant la forme générale d'un tore engendré par la rotation de la ligne D autour de Oz. Les parallèles de cette surface S sont des lignes d'induction du champ $\mathcal{B}$ produit par le courant rectiligne I'. Le champ résultant de $\mathcal{B}$ et $\mathcal{B}'$ est tangent à la surface S comme chacun des champs composants. On voit ainsi que la surface S contient des lignes d'induction du champ total, toutes les lignes d'induction sur S étant identiques entre elles et ne différant que par une rotation autour de O.

Pour étudier la forme de ces lignes, nous prendrons des coordonnées semi-polaires z et désignerons par dl un élément de la ligne fermée D dont la longueur totale sera L. Un déplacement sur la ligne d'induction résultante aura une composante dl dans le méridien et une composante $rd\theta$ suivant un parallèle. On aura évidemment :

$$\frac{rd\theta}{\mathcal{B}'} = \frac{dl}{\mathcal{B}}$$

Digitized by Google

d'où

$$d\theta = \frac{\mathcal{B}'}{\mathcal{B}} \frac{dl}{r}$$

Cette formule montre que $d\theta$ a un signe constant comme l'est le signe de dl lorsque l'on parcourt la ligne fermée D dans le sens du champ $\mathcal{B}$.

D'après cela, la ligne d'induction du champ résultant a la forme générale d'une hélice tracée sur la surface S (fig. 2).

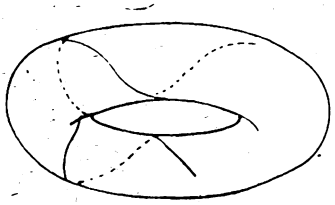


Fig. 2.

Les plans méridiens passant par le début et la fin d'une spire font entre eux un angle θ de valeur

$$\theta = \int_0^L \frac{\mathcal{B}'}{\mathcal{B}} \frac{dl}{r} \qquad (1)$$

On peut donner à θ le nom de *pas* de l'hélice.

Il peut se faire que θ soit une partie aliquote de 2π : la ligne d'induction se ferme au bout d'une rotation 2π autour de Oz. Si θ est seulement dans un rapport commensurable avec 2π, la ligne d'induction ne se ferme qu'au bout de plusieurs tours. Mais si θ et 2π sont dans un rapport incommensurable, la ligne d'induction ne se ferme pas : en la parcourant on revient passer au deuxième tour entre les premières spires, au troisième tour entre les spires des deux premiers tours, etc..., de telle sorte que l'écart entre spires voisines diminue toujours et au delà de toute limite.

Si l'on ne peut pas dire que la ligne occupe toute la surface S (car il y a une infinité de points par lesquels elle ne passera jamais), du moins cette ligne vient-elle passer, au bout d'un nombre suffisant de tours à une distance aussi petite qu'on voudra d'un point arbitrairement choisi sur S. D'où cette conséquence qu'un tube de force, si étroit soit-il en un endroit, finit toujours par se recouvrir lui-même partiellement.

Digitized by Google

Si l'on passe d'une surface S à une autre, le pas des lignes d'induction de la surface ne reste pas constant. Le rapport $\frac{0}{2\pi}$ varie d'une façon continue en passant nécessairement à tout instant d'une valeur commensurable à une valeur incommensurable et réciproquement. Il en est de même si l'on fait varier les intensités de courant I et I' et qu'en même temps on fasse varier la surface S de manière à maintenir le flux constant à travers tout parallèle de S comme au §'1er. Les lignes d'induction de S seront alternativement fermées avec un nombre fini de spires et ouvertes avec un nombre infini de spires. Les variations de 0 font que les spires d'une ligne s'éloignent ou se rapprochent et que deux parties en recouvrement d'un même tube d'induction se déplacent l'une par rapport à l'autre, *ayant ainsi des vitesses différentes* bien qu'occupant la même région de l'espace. Cela n'a plus aucun sens de parler du flux coupé par un tel tube d'induction.

L'étude analytique de l'équation

$$\frac{d\mathcal{B}}{dt} = \text{rot}\,[v, \mathcal{B}] \qquad (2)$$

citée par M. DARRIEUS conduit aux mêmes résultats : on peut en effet établir que, pour le cas étudié, l'équation (2) n'admet aucune solution en v qui soit uniforme. En partant d'un point A et y revenant après un certain parcours, il se trouve que la valeur prise par v lorsque l'on revient en A est nécessairement différente de la valeur qu'avait v au départ, et l'indétermination des valeurs de v en un même point, montre bien que cette grandeur mathématique ne peut avoir aucune signification physique.

M. DARRIEUS. — Celle des deux formes de la loi de l'induction utilisées couramment par l'Ingénieur, qui consiste à exprimer la F.E.M. induite $\mathcal{B}lv$ par le nombre de lignes d'induction coupées dans l'unité de temps, donne encore lieu au point de vue de l'électrodynamique générale à bien des difficultés; mais il n'en est pas de même dans le domaine pratique de l'électro-technique où elle peut être utilisée en toute sécurité, même dans les cas d'induction unipolaire, sous réserve des considérations suivantes :

1° La vitesse v à faire intervenir est la vitesse relative du champ et de la matière du conducteur, et non comme on est tenté de le faire en induction unipolaire, celle du champ et de la figure du courant qui peut être stationnaire malgré le mouvement du support matériel.

2° Le mouvement à imputer aux lignes d'induction est le plus sou-

Digitized by Google

vent déterminé, du moins pratiquement, par de simples raisons de bon sens ou de commodité (champ tournant, etc...), mais si ce choix reste sujet théoriquement à une grande indétermination, cette dernière est sans conséquence au point de vue de l'application à un circuit fermé, grâce à la loi générale de conservation de l'induction; cette loi doit être entendue non dans le sens restreint, qui a prévalu communément, à savoir de conservation dans l'espace (divergence nulle) mais dans le sens qu'avait évidemment en vue Faraday lui-même, d'une conservation à la fois dans le temps et dans l'espace, qui assure non seulement à un instant donné la conservation des lignes d'induction à travers le champ, mais d'un instant à l'autre la persistance de ces lignes, ou l'impossibilité pour celles d'entre elles qui passent au travers d'un contour fermé, de cesser de le traverser autrement qu'en franchissant ce contour.

Cette condition s'exprime par :

$$\text{rot.}\,[v,\mathcal{B}] = \frac{d\mathcal{B}}{dt} \qquad (1)$$

où $[v.\ \mathcal{B}]$ représente le produit vectoriel de la vitesse v des lignes d'induction par le vecteur d'induction $\mathcal{B}$. Elle permet de remplacer l'expression usuelle de la F. E. M. induite le long d'un contour mobile, par une où n'intervient plus que ce contour.

La première expression qui représente suivant un théorème dû à Hertz, la F. E. M. comme l'intégrale de surface à travers le contour de la somme

$$-\frac{\partial\mathcal{B}}{\partial t} + \text{rot}\,[u,\ \mathcal{B}] \qquad (2)$$

où u est la vitesse de la matière, correspond à la décomposition usuelle, dans la théorie notamment des machines à courant alternatif à collecteur, en f. é. m. statique (prépondérante au démarrage et nuisible à la commutation) due à la variation du champ dans l'induit supposé immobile, et f. é. m. dynamique (seule existante en courant continu), due à la rotation dans un champ constant.

La relation (1) permet de transformer (2) en rot $[v\text{-}u,\ \mathcal{B}]$, et grâce au théorème de Stokes, la f. é. m. en l'intégrale de ligne étendue au contour, ou circulation, du vecteur $[v\text{-}u,\ \mathcal{B}]$ où n'intervient plus que le flux des lignes d'induction qui coupent le conducteur dans leur mouvement relatif.

Les difficultés n'interviennent que pour les circuits non fermés dès qu'il s'agit de représenter en chaque point, tout ou partie de la force électrique par un mouvement des lignes d'induction en ce

Digitized by Google

point. (L'indécision ne porte d'ailleurs nullement sur les faits eux-mêmes et dans le cas proposé par CURIE, et mentionné par M. BUNET, du déplacement d'un oscillateur de HERTZ en travers d'un champ magnétique, l'existence d'une force électrique et d'une polarisation résulte bien des équations de LORENTZ et est confirmée par la déviation magnétique des rayons cathodiques).

Le rapprochement de (1) et de l'équation de Faraday Maxwell :

$$\text{rot } \mathcal{E} = -\frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t} \qquad (3)$$

montre que $\mathcal{E}$ et $-[v, \mathcal{B}]$ ont même rotationnel.

Une condition nécessaire pour que ces vecteurs puissent être identifiés serait que $\mathcal{E}$ fut perpendiculaire à $\mathcal{B}$. comme le produit vectoriel $[v, \mathcal{B}]$; or ce n'est pas le cas en général, et les deux quantités $\mathcal{E}$ et $[v, \mathcal{B}]$ différeront en général d'une quantité à rotationnel nul, c'est-à-dire du gradient d'un scalaire ψ (1).

Or, d'après l'expression de $\mathcal{E}$ due à LORENTZ

$$\mathcal{E} = -\text{ grad. } \psi - \frac{\partial \mathcal{A}}{\partial t} \qquad (4)$$

en fonction du potentiel scalaire ψ et du potentiel vecteur $\mathcal{A}$, E et $-\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial t}$ ont aussi même rotationnel; il serait tentant de supposer qu'il s'agit dans les deux cas du même ψ et d'identifier $\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial t}$ avec $[v, \mathcal{B}]$ ou $[v, \text{rot } \mathcal{A}]$, ce qui n'est malheureusement pas toujours possible, car cela implique que $\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial t}$ et rot $\mathcal{A}$ soient perpendiculaires, conditions non vérifiées en général. Dans le cas où les champs électrique et magnétique $\mathcal{E}$ et $\mathcal{H}$ (ou $\mathcal{B}$) sont perpendiculaires, il est d'ailleurs aussi légitime de chercher à ramener comme l'a fait J.-J. THOMSON, le champ magnétique au mouvement des lignes d'induction électrique, que de faire l'inverse, car si pour l'électrotechnicien c'est la deuxième solution qui se présente le plus naturellement (champs tournants) elle conduirait dans le domaine du mouvement des charges électrisées à l'obligation de représenter un champ électrostatique pur, sous la forme illusoire du déplacement à vitesse infinie de lignes d'induction infiniment rares. En général, toujours sous la condition $(\mathcal{E}\mathcal{H}) = 0$, les vitesses à imputer respectivement aux lignes électriques ou magnétiques, toutes deux dirigées comme le vecteur de

(1) Voir notamment dans le *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens 1910*, p. 288, les remarques de M. Liénard sur la communication de M. de Baillehache.

Digitized by Google

Poynting ou la quantité de mouvement électromagnétique, normalement au plan $\mathcal{EH}$, sont, l'une inférieure, l'autre supérieure à la vitesse de la lumière qui en est la moyenne géométrique.

Cette dualité de représentation qui paraît bien irréductible, se retrouve d'ailleurs dans les conceptions récentes de la mécanique ondulatoire de L. de Broglie et de Schrödinger où la vitesse de transport de l'énergie et la vitesse de phase de l'onde associée satisfont précisément à la même relation. La théorie de ces mouvements de lignes électriques et magnétiques associées a d'ailleurs été développée antérieurement d'une manière remarquable, et tout à fait satisfaisante au point de vue mathématique, par E. T. Whittaker (calamoïdes), H. Bateman, etc..., mais toujours en se limitant au cas du produit scalaire $\mathcal{EH}$, nul.

A un autre point de vue enfin, l'idée ancienne de Faraday, chère à Lord Kelvin (Popular lectures), et fortement suggérée par l'analogie hydrodynamique, que les tubes d'induction magnétiques sont formés de tourbillons électriques discrets, trouve un nouveau support dans la théorie des quanta.

En effet, la condition de Bohr que l'énergie cinétique d'un électron décrivant son orbite à une fréquence ν soit un multiple entier de $1/2\hbar\nu$, où h est la constante universelle d'action ou de moment cinétique de Planck, revient à dire que le flux embrassé par le courant $i = e\nu$ équivalent, doit être multiple entier du flux élémentaire $h : \nu$, puisque l'énergie cinétique n'est autre que l'énergie magnétique du champ

$$\frac{1}{2}\,Li^2 = \frac{1}{2}\,i\Phi = \frac{1}{2}\,e\Phi\nu.$$

Cette interprétation représente l'action élémentaire fondamentale h, cellule d'univers à quatre dimensions, comme le produit de deux facteurs : charge élémentaire e de l'électron ou flux d'induction électrique équivalent, et flux magnétique élémentaire, à chacun desquels se trouvent associées deux des dimensions de l'espace-temps.

Eminemment suggestive dans le domaine de l'électrotechnique, elle conduit à se représenter le champ magnétique comme un faisceau de filets élémentaires entre lesquels s'établit une équipartition de l'énergie et dont chacun se voit attribuer un quantum égal, demi-produit des ampères-tours communs embrassés $i = e\nu$ par le flux élémentaire correspondant. Ce dernier comme l'intensité des filets tourbillons en hydrodynamique, joue un rôle d'un invariant adiaba-

Digitized by Google

tique, de sorte que seul le facteur force magnétomotrice ou fréquence dans un cas, et vitesse angulaire dans l'autre fait varier l'énergie du filet élémentaire considéré.

Enfin, par le mouvement des lignes du champ les tensions de milieu de MAXWELL (répulsions mutuelles entre lignes de force), les forces électrodynamiques, le flux d'énergie, la quantité de mouvement électromagnétique, dérivent exactement de cette énergie distribuée dans le champ, comme dans le cas des milieux continus en mécanique.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ [1]

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Les machines électriques industrielles. Principe, fonctionnement, divers types, montages, pannes, par R. BARDIN, Ingénieur-Electricien E. S. M E., diplômé de l'Ecole supérieure d'Aéronautique. — Paris, Librairie centrale des sciences Desforges, Girardot et Cie. 1927; un vol broché 22cm × 13cm,5, de 79 pages avec 65 figures. [Prix : 8 francs]. (Don des éditeurs).

TRANSMISSION ET DISTRIBUTION GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ.

CANALISATIONS. — APPAREILLAGE GÉNÉRAL.

— **Electric Rectifiers and Valves**, by Prof. Dr.-Ing. A. GUNTHERSCHULZE, of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Translated and revised by NORMAN A. DE BRUYNE B. A. (Cantab.), author of « The Electrolytic Rectifier ». — London, Chapman et Hall, Ltd., 1927; un vol. relié toile 22cm × 14cm, de IX-212 pages avec 94 figures. [Prix : 15 shillings]. (Don des éditeurs).

— **Les moteurs à courants alternatifs. Les moteurs d'induction. Les moteurs à collecteur. Théorie, calcul, construction, applications**, par Louis LAGRON, Ingénieur-Electricien. — Paris, Librairie scientifique Albert Blanchard, 1927; un vol. broché 18cm × 11cm5, de 429 pages avec 211 figures. (« Nouvelle Encyclopédie Electro-Mécanique », n° 2). [Prix : 25 francs]. (Don de l'éditeur).

MATHÉMATIQUES. — MÉCANIQUE.

— **Cours de Cinématique**, par JASSON-JULIA. Professeur à la Faculté des Sciences de Paris. Rédigé par Jean DIEUDONNÉ, élève à l'Ecole Normale supérieure. (Cours de la Faculté des Sciences de Paris). — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1928 : un vol broché 23cm × 14cm, de 150 pages avec 52 figures. [Prix : 25 francs]. (Don des éditeurs).

GÉNÉRALITÉS. — ETUDES THÉORIQUES. — RECHERCHES PHYSIQUES.

— **Recherches expérimentales sur la propagation du son dans un long tuyau cylindrique**, par M. Th. VAUTIER Professeur à la Faculté des sciences de Lyon. Paris, — Masson et Cie, 1927; un vol cartonné 22cm × 14cm, de 98 pages, avec 9 figures et 4 planches hors texte. (Extrait des « Annales de Physique », Xe série, T. VI -novembre décembre 1926). (Don de l'auteur).

— **Skineffect en Temperaturverdeeling in elektrische Geleiders**, door M. J. O. STRUTT. Electrotechnisch Ingénieur. — J. Waltman Jr., Delft, 1927; un vol. broché 24cm × 16cm, de 70 pages (Thèse de doctorat ès-sciences techniques). (Don de l'Ecole technique supérieure de Delft).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

Congrès. — Expositions. — Sociétés. — Syndicats. — Annuaires. Actes officiels. — Etudes économiques, etc.

— **Quelques aspects de l'évolution des prix au siècle dernier et en notre temps. Théories et réalités**, par Maurice Virlogeux. Ingénieur E. S. E., Docteur en droit. — Paris, Marcel Giard éditeur, 1927; un vol. broché 25cm × 16cm. de 11-207 pages, avec 26 planches hors texte]. (Don de l'auteur). [Prix : 25 fr.].

Technologie.

— Onze thèses de doctorat ès sciences techniques à l'Académie technique de Delft (Hollande) [en hollandais]. - Delft, 1927; 11 vol. brochés 24cm × 16cm, (Don de la Bibliothèque de l'Académie de Delft).

L'Imprimeur-Editeur : Etienne Chiron, Paris.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE.

Les installations téléphoniques automatiques, par le Dr Ing. F LUBBERGER, traduction de E. MUNCH, préface de M Reynaud BONIN. Paris, Gauthier Villars et Cie, 1927, un vol. relié toile 25cm × 16cm, de XXII-311 pages avec 160 figures hors texte. — Don de M. Munch,

Plusieurs ouvrages ont déjà été consacrés en France, en tout ou en partie, à la téléphonie automatique ; ils se bornent en général à décrire successivement les différents systèmes utilisés en France dans les installations de l'administration des P. T. T. et ne donnent que peu de renseignements sur les dispositifs adoptés à l'étranger et sur les facilités d'exploitation qu'ils permettent. L'ouvrage de Lubberger est conçu sur un plan tout différent, il expose d'une façon en quelque sorte synthétique le problème de la téléphonie automatique et, chemin faisant, examine les diverses solutions proposées, celles qui ont reçu des applications pratiques comme celles qui sont restées à l'état de projet. Toutes ces questions font l'objet non sulement d'une description, mais aussi d'une étude critique.

La question des installations privées, presque toujours très négligée dans la plupart des ouvrages français, est traitée à fond, et l'on se rend compte ainsi que tous les problèmes posés par les différents genres d'installations ont été résolus grâce à l'automatique. Un chapitre est consacré aux installations d'énergie nécessaires au fonctionnement d'un central automatique.

L'ouvrage se termine par un exposé détaillé des principaux systèmes de téléphonie automatique utilisés par les administrations publiques : le système Siemens et Halske de l'administration allemande, le système de l'Automatic Electric C° de Chicago, le système Rotary de la Bell Manufacturing C° et le système Ericsson.

L'automatique se développe constamment, ce qui fait que ce livre récent n'est déjà plus tout à fait au courant des dernières innovations. Espérons qu'une nouvelle édition viendra bientôt combler cette lacune.

APPAREILLAGE.

Electric Rectifiers and Valves, par le Dr Ingr GÜNTHERSCHULZE, traduit en anglais par de BRUYNE. — London, 1 volume de VIII, 212 pages. — Chapman et Hall, 1927, 15 *s*.

L'ouvrage n'est pas une simple traduction de l'édition allemande : il comporte une mise à jour par l'auteur et des additions du traducteur.

Il débute par une étude fort complète des phénomènes utilisés dans les redresseurs. Cette première partie, très intéressante, occupe à elle seule la moitié de l'ouvrage. Sont successivement étudiés : la structure atomique, la conduction des gaz, les phénomènes particuliers à l'anode et à la cathode, l'arc, les redresseurs électrolytiques et les détecteurs.

Une seconde partie concerne la technique des appareils : montages, variations de la tension et de l'intensité du courant redressé, pertes ; redresseurs mécaniques, électrolytiques, à lampes, à vapeur de mercure, Wehnelt, etc...

Les ingénieurs ayant à s'occuper de redresseurs trouveront dans l'ouvrage de Güntherschulze une somme très complète de renseignements,

Digitized by Google

Mécanique.

Leçons choisies de Mécanique par A. Boulanger : *I Le choc des corps solides* 10 fr. - *II Les principes de la mécanique des ressorts* 15 fr. — 2 vol. brochés $22^{cm} \times 14^{cm}$, de 86 pages avec 41 figures et de 64 pages avec 23 figures et 2 planches hors texte. (Don de l'éditeur).

Intéressantes monographies d'une lecture facile.

Dans la première, d'une étendue de 64 pages, sont très bien exposés l'historique de la découverte des lois du choc, le mécanisme du phénomène et ses résultats. Suivent des applications (battage des pieux, pendule balistique) et l'étude de la propagation du mouvement dans le cas du choc direct de corps allongés d'après de Saint-Venant, Boussinesq et de Maupeou.

La seconde monographie, de 86 pages, décrit les dispositions et la fabrication des ressorts, puis étudie en détail, d'une manière particulièrement instructive, le rôle que les ressorts sont appelés à jouer en vertu de leur élasticité, de l'amortissement qu'ils présentent et des phénomènes de résonance auxquels ils peuvent donner lieu.

Vient ensuite le calcul des ressorts suivant leur destination (ressorts de suspension, ressorts d'amortissement, ressorts d'horlogerie).

L'ouvrage se termine par l'étude d'une curieuse expérience du professeur Wilberforce et son application à la détermination du rapport des coefficients d'élasticité longitudinale et transversale d'un corps.

Recherches physiques

Essais magnétiques. (*Magnetic testing*). — Circulaire n° 17 du Bureau of Standards de Washington, 4e édition ; table des symboles employés. une brochure $25^{cm} \times 18^{cm}$ de 24 pages avec 11 figures. Prix 15 cents. — Don du Bureau of Standards.

Définition des grandeurs et des unités magnétiques. — Propriétés des corps ferro-magnétiques, paramagnétiques, diamagnétiques. — Induction normale : sa détermination expérimentale ; tracé du cycle d'hystérésis. — Exposé détaillé des méthodes employées au Bureau of Standards pour mesurer l'induction et tracer les courbes de magnétisme ; perméamètre de Burrow ; appareil spécial pour champs intenses ; mesure des pertes totales dans le fer. — Considérations sur la constitution des barreaux étalons et sur leur stabilité.

Quelques idées sur l'électrodynamique, par R. Ferrier. Paris, Librairie Scientifique Albert Blanchard 1927. - Un vol. broché $22^{cm} \times 13{,}5$, de 48 pages. — (Prix 5 francs). Don de l'éditeur.

Dans cette publication, préfacée par M. Paul Painlevé, l'auteur groupe et coordonne quelques travaux précédents, de sorte qu'il devient plus aisé de suivre sa pensée.

Alors que l'influence de Faraday, déjà très grande sur Maxwell, est devenue de plus en plus prépondérante dans les extensions de la théorie électromagnétique dues à Lorentz et Einstein, M. Ferrier cherche à développer les conceptions d'Ampère.

Il part à cet effet de la formule de Weber, qu'il complète pour tenir compte du rayonnement des circuits ouverts, dont la radiotélégraphie est un exemple particulièrement frappant, et constate la nécessité de l'intervention d'un milieu capable de laisser se propager l'énergie radiante, l'éther. Cet éther n'est pas le fluide matériel incompressible de Fresnel et de Maxwell; nous ignorons à peu près complètement ses propriétés, il est indispensable de chercher à les préciser.

Dans ce travail, qui en est encore à son début, M. Ferrier est amené à décomposer le champ électrique en un champ sans divergence et un champ sans tourbillon, qui se superposent ; si le premier dépend des équations classiques de Maxwell et correspond à des ondes qui se propagent, le second, qui se trans-

Digitized by Google

forme en lui-même par le groupe

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}(x - vt),$$

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}\left(t + \frac{vx}{c^2}\right)$$

symétrique de celui de Lorentz, ne comporte pas de propagation, mais entraîne l'apparition de points critiques autour desquels le champ tend à se rassembler, pour évoluer ensuite suivant une loi inconnue, car les équations ne sont plus valables quand il y a de semblables discontinuités.

Dans l'introduction à son travail, l'auteur avait défini une nouvelle grandeur, *l'ampérien*

$$\mathfrak{A} = -\int\left(\text{grad.}\frac{1}{r}, \; i\right)d\tau$$

qui répond à l'identité de Vaschy sous la forme

$$\text{rot. } \mathfrak{M} + \text{grad. } \mathfrak{A} = 4\pi i$$

en vertu de laquelle a été effectuée la décomposition de champ dont nous venons de parler, et un nouveau vecteur, le *radiovecteur* $\mathcal{R}$, tel que

$$\mathcal{R}_x = \int \frac{(x-a)i_x + (y-b)i_y + (z-c)i_z}{r^3}(x-a)d\tau$$

. . . . . .

lié au potentiel vecteur $\mathfrak{M}$, au champ magnétique $\mathfrak{H}$ et à l'ampérien $\mathfrak{A}$ par les relations

$$\text{rot. } \mathfrak{M} = \text{rot. } \mathcal{R} = \mathfrak{H},$$
$$\text{div. } \mathfrak{M} = -\text{div. } \mathcal{R} = \mathfrak{A}.$$

Il est amené à introduire l'ampérien dans l'expression de l'énergie totale du volume τ

$$W = \int \frac{\mathfrak{E}^2 + \mathfrak{H}^2 - \mathfrak{A}^2}{8\pi} d\tau$$

et à compléter les équations des champs électromagnétiques en y introduisant l'ampérien, ce qui les rend symétriques.

L'étude de l'oscillateur de Planck amène M. Ferrier à constater une différence fondamentale, parmi les perturbations irrotationnelles, entre celles dont l'énergie est positive et celles dont l'énergie est négative : les premières seules sont susceptibles de se quantifier sous forme d'oscillateurs de Planck ; les secondes ne peuvent osciller et l'étude de ce qu'elles peuvent devenir se trouve liée au problème de la stabilité atomique. On constate ici une première indication de l'irréversibilité physique.

L'auteur entreprend ensuite l'étude des effets des charges mobiles, problème qui n'a pas encore reçu de solution entièrement satisfaisante. Il remarque en passant que la solution approchée dont on est actuellement obligé de se contenter fausse complètement le principe même de la théorie électronique, qui repose sur l'existence de points singuliers irréductibles. Nous ne partageons pas sa manière de voir sur cette dernière affirmation ; la considération de points singuliers est, pour le physicien, une fiction mathématique commode, mais l'électron a toujours été envisagé avec des dimensions spatiales finies, qui sont, notamment, indispensables pour que la rotation de l'électron sur lui-même ait un sens. Quoi qu'il en soit, M. Ferrier poursuit l'étude des équations classiques, telles qu'il les a complétées par l'introduction de *l'ampérien*, montre qu'elles concordent avec les équations de Maxwell lorsqu'on annule cet ampérien, examine la solution des équations pour des mouvements infiniment lents et

Digitized by Google

détermine la valeur de la masse électrodynamique d'une charge électrique au repos.

M. Ferrier passe alors à l'étude de l'atome. Après avoir formulé une importante remarque sur la part d'énergie que l'électron est, dans certains cas, obligé de puiser dans l'éther, il analyse les conséquences de l'annulation, admise par Maxwell, de l'ampérien en tout point et montre que cette annulation correspond à l'hypothèse de la stricte incompressibilité de l'éther, laquelle n'est pas indispensable.

Enfin, poursuivant sa recherche des propriétés de l'éther, M. Ferrier le considère comme un milieu *autonome*, c'est-à-dire dont la mécanique tout entière doit se développer par la seule considération de sa *configuration* (définie par des points de repère) et non par celle de sa *position*, qui n'a, dit-il, pas de sens. Il cherche à construire une mécanique *autonome* et formule à ce sujet d'intéressantes remarques, qu'il conclut par les considérations suivantes :

« Enfin la conception du mouvement autonome rend plus apparente l'indé-
« pendance de la science et de la métaphysique. En réduisant les caractères des
« objets à des combinaisons de points géométriques, placée dans un milieu
« dépourvu de toute propriété, elle met la nature des choses à l'abri de l'investi-
« gation scientifique et contribue à clore un débat stérile et décevant. »

Nous ne saurions dissimuler que cette conclusion ne nous satisfait pas. Nous ne concevons pas, du point de vue physique, la possibilité de points géométriques, doués d'une énergie finie et exerçant des actions finies sur d'autres points ; et de fait, si la notion du point matériel a procuré d'éclatants succès à la mécanique rationnelle tant qu'elle s'est cantonnée dans le domaine macroscopique, cette notion s'est révélée complètement insuffisante dans le domaine atomique. Du même point de vue physique, nous ne concevons pas, depuis l'échec de la théorie de l'émission, que des actions mécaniques ou des échanges d'énergie puissent s'effectuer entre divers éléments matériels placés en des points différents sans se transmettre par l'intermédiaire d'un milieu reliant ces deux éléments, et qui ne saurait, dès lors, être dépourvu de toute propriété.

D'autre part, M. Ferrier écrit le *courant de déplacement* sous la forme

$$i = \frac{1}{4\pi c}\,\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t}$$

alors que Maxwell l'écrivait en réalité sous une forme équivalente à

$$i = \frac{1}{4\pi}\,\frac{d\mathcal{E}}{dt},$$

c'est-à-dire avec une différentielle *totale* et non partielle. Ces deux écritures se ramènent l'une à l'autre dans le cas d'un milieu au repos, mais non dans le cas de corps en mouvement et les équations aux différentielles totales par rapport au temps se transforment en elles-mêmes par le *groupe de Galilée* et non par le double groupe de M. Ferrier comprenant le groupe de Lorentz et son symétrique.

Ces quelques remarques, portant d'ailleurs sur des points qui font encore l'objet de profonds dissentiments parmi les savants, n'enlèvent rien à la valeur des importants travaux de M. Ferrier. Il est hautement désirable que cet auteur si original poursuive sa théorie jusqu'au point où elle se prêtera à de multiples confrontations avec l'expérience et, en attendant, nous ne pouvons que conseiller la lecture attentive de son intéressant opuscule.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 12 janvier 1898.

Présidence de M. J. VIOLLE, *vice-président*.

M. VOISENAT présente un historique de la télégraphie sans fil, que le retentissement des essais alors tous récents de Marconi (son brevet date de 1897), mettait à l'ordre du jour. Il rappelle les premières tentatives antérieures de Lindsay (de 1831 à 1859) et de Bourbouze de 1871, pendant le siège de Paris, avec communication par le sol, celles d'Edison (1884) utilisant l'induction électrostatique, enfin celles de Preece (1892), par induction électromagnétique entre deux fils parallèles.

Il expose ensuite comment les expériences de Hertz (1888), sont venues confirmer la géniale intuition et la théorie de Maxwell (1864), sur la nature électromagnétique de la lumière déjà pressentie par Faraday.

Enfin, il passe en revue les expériences et perfectionnements de Sarrazin et de la Rive (résonance multiple), de Righi, la découverte du cohéreur par Branly (1890), les essais de Popoff (1895) (où l'antenne apparaît pour la première fois) sur les oscillations électriques de l'atmosphère, enfin les premières communications régulières à quelques kilomètres, réalisées sous une forme déjà pratique par Marconi.

M. BOUCHEROT décrit ensuite les types de moteur à courant polyphasé à induits fermés sur eux-mêmes et démarrant en charge, imaginés par lui vers 1894. Un court historique rappelle la genèse du moteur à champ tournant à partir du disque tournant d'Arago (1824-1825) : Théorème célèbre de Marcel Deprez en 1880, sur la production d'un champ tournant à l'aide de courants polyphasés, invention en 1887-1888 par Ferraris du moteur d'induction qui, découvert indépendamment par Tesla est muni par lui d'un rotor en fer bobiné, est enfin pourvu de la cage d'écureuil par C. Brown et Dolivo-Dobrowolski.

Les deux systèmes imaginés par M. Boucherot réalisent sans bague, ni rhéostat extérieur, la résistance rotorique, fonction du glissement,

Digitized by Google

dont le brevet de Maurice Leblanc (1889) et les calculs de Mascart, Potier, Picou, Blondel, avaient démontré la nécessité. Le premier, à double cage, l'une résistante située près de l'entrefer, l'autre conductrice au fond d'encoches profondes, s'est tout récemment répandu aux Etats-Unis comme moteur industriel, et a été également utilisé en 1919, dans la propulsion électrique du cuirassé New-Mexico. Le deuxième type où le décalage relatif de deux stators placés côte à côte, permet de faire traverser ou non aux courants induits un anneau de court-circuit résistant placé dans le plan médian du rotor commun, n'a guère été construit qu'en France où la Maison Bréguet en a assuré dès l'origine comme pour l'autre, la fabrication.

Enfin, le bulletin de janvier contient une étude de M. Ch. Ed. Guillaume sur les aciers au nickel et le métal Invar à dilatation exceptionnellement réduite qu'il venait de découvrir.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du Samedi 4 Février 1928 (commune avec la Société des Amis de la T.S.F. p. 118.

Admission des Membres titulaires, p. 118.

Allocution de M. IMBS président entrant, p. 119.

Remise d'une médaille de bronze à MM. DECAUX, FOURNIER et FROMY, titulaires du legs ANCEL pour 1927, p. 125.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Applications nouvelles des lampes à quatre électrodes (M. DECAUX), p. 126. — Télégraphie optique à écoulement rapide des signaux (M. FOURNIER), p. 131. — Epuration électrique du gaz de haut-fourneau (M. KERALY), p. 136. — Note sur la détermination d'une base scientifique pour la fixation des minima d'éclairement recommandé (M. M. LEBLANC), p. 156. — Note à propos de la mesure pratique de la valeur d'éblouissement d'une source lumineuse (M. M. LEBLANC), p. 159 — Appareils réalisés par les établissements L. HATOT pour la remise à l'heure des pendules par T.S F. (M LAVET), p. 162. — Détermination des densités de courant admissible en raison des échauffements dans les conducteurs isolés au caoutchouc (M. LEMENAND), p. 178.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ELECTRICIENS :

Composition du Bureau et du Comité des Groupes Sud-Est et Sud-Ouest, p. 185.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 186. — Texte, p. 186.

TRAVAUX DU GROUPE SUD-EST, p. 209.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 212.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 214.

IL Y A TRENTE ANS, p. 215.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 4 Février 1928.

Commune avec la Société des Amis de la T. S. F.

Présidence de M. Imbs.

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Coutellier (Eugène-Louis-Alfred), ingénieur au Service commercial des Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont, 297, avenue Jean-Jaurès, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Rivière.

Delaporte (Edouard), fabricant de lampes électriques, 62, rue Saint-Antoine, à Paris (4e). — Présenté par MM. Fabry et Janet.

Dupuy (Gaston), ingénieur à la Compagnie française pour l'Exploitation des procédés Thomson-Houston, 51, rue de la Procession, à Paris (15e). — Présenté par MM. Chauveau et Girault.

Fournier (Daniel-Jean), agent technique de la Société française Radio-électrique, 75 *quater*, rue de Villiers, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Grosselin et Chauveau.

Joergensen (Joergen-L.), ingénieur à la Société N. Jacobsen's Eloktriske Veiksted, 38, Goteborggaten, à Oslo Norvège). — Présenté par MM. Jouvion et Berg.

Jung (Robert-Louis), ingénieur à la Société alsacienne de Constructions mécaniques, quai Charles-Vallot, à Belfort (Territoire de Belfort). — Présenté par MM. Roth et Belfils.

Kyticas (Constantin), ingénieur à la Société française radio-électrique, 79, boulevard Haussmann, à Paris (8e). — Réadmission.

Marquehosse (Pierre), ingénieur E. S. E., licencié ès sciences physiques, électricien à la Compagnie française Thomson-Houston, 28, rue d'Assas, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Jouvion.

Michel (Alexandre-Joseph-Edouard), ingénieur à la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris, 29, boulevard Jules-Ferry, à Paris (11e). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Samuel (André), directeur technique de la Société « La Thiolite », 90, avenue du Bac, à Joinville-le-Pont (Seine). — Présenté par MM. Bunet et Chaumat.

Sarton du Jonchay (Yvan), lieutenant de vaisseau, officier électricien du Jean-Bart, à Toulon (Var). — Présenté par MM. de Tannenberg et Casenave.

Schmid (Ernest-H.), chef du bureau d'Etudes à la Société alsacienne de constructions mécaniques, 5, rue des Rodiers, à Belfort (Territoire de Belfort). — Présenté par MM. Roth et Belfils.

Vidalenche (Paul), ingénieur A. M. et I. E. G. ingénieur en chef à la Société des Mines de l'Ouenza, 3, rue Jules-Lefebvre, à Paris (9e). — Présenté par MM. Chataing et Gidrol.

Vivot (René-Pierre), ingénieur à la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, 22, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Fallou et Dubusc.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président remercie M. le Docteur Cornet, qui, en l'absence de

Digitized by Google

M. LALLEMAND, Président de la Société des Amis de la T. S. F., a bien voulu prendre place à ses côtés, en qualité de Vice-Président de cette Société.

Il prononce ensuite l'allocution suivante :

ALLOCUTION DE M. IMBS.

« Conformément à la tradition de votre Société, qui veut qu'à côté de savants éminents, la présidence soit parfois confiée à des industriels, c'est au titre d'industriel que vous m'avez désigné.

« En ouvrant cette séance, la première que je préside, je vous remercie à nouveau de l'honneur que vous m'avez fait, dont je ressens très vivement le prix et je veux en quelques mots vous exprimer les impressions d'industriel que m'inspire cet honneur.

« Tout d'abord, c'est la gloire du passé de votre Société qui me vient à l'esprit ; ce passé, il est tout entier contenu dans votre annuaire et dans vos publications mensuelles qui ont été commencées en 1884, l'année qui a suivi la constitution de votre Société. Depuis vos premiers Présidents, Georges BERGER, Maurice LOEWY, MASCART et à côté de vos Présidents d'Honneur, A. BLONDEL et le Général FERRIÉ, que de noms illustres se sont succédé parmi ceux qui ont été les animateurs de la *Société Française des Electriciens*, et, combien de travaux du plus haut intérêt pour le développement de l'électrotechnique parmi ceux qui ont été commentés dans les séances mensuelles et publiés dans votre Revue.

« Toute l'histoire de l'électrotechnique en France, depuis son application à l'industrie, est contenue sous ces noms et dans ces documents puisque la fondation de votre Société est antérieure de quelques années aux premières distributions publiques et aux premières applications de l'énergie électrique en France.

« Il ne saurait y avoir de plus grande satisfaction pour un industriel qui a collaboré au développement pratique de l'électricité, que d'être appelé au privilège des fonctions que vous m'avez confiées et de pouvoir, en servant sa profession, continuer à aider et à consolider votre Institution, conformément aux traditions du passé dont vous pouvez être fiers à juste titre.

« Mais n'est-ce pas aussi du présent que vous avez à vous louer ; quand je dis le présent, je songe à l'année 1927 qui vient de s'écouler et au cours de laquelle se sont succédé des événements particulièrement marquants.

Digitized by Google

« La Médaille Mascart, créée en 1923 en l'honneur du fondateur de notre Société et attribuée la première fois (elle l'est tous les trois ans) à André Blondel, a été donnée cette année à J.-J. Thomson, l'éminent savant anglais, Président de l'Université de Cambridge ; c'était au cours d'une réunion en juin dans l'Amphithéâtre de la Sorbonne dont vous vous souvenez certainement, car elle a été l'occasion d'une conférence et d'échanges de vues des plus intéressants.

« Notre Directeur du Laboratoire et de l'Ecole, si respecté et si aimé à la fois, a reçu la Cravate de Commandeur de la Légion d'Honneur. Je vous rappelle la cérémonie si touchante présidée par le Ministre de l'Instruction Publique au cours de laquelle nous avons tous, avec une réelle émotion, salué cet honneur qui rejaillit sur notre Société. Je vous rappelle aussi le geste par lequel M. Janet n'acceptant pas le témoignage personnel que nous voulions lui adresser en souvenir de la marque de distinction qui lui était conférée, sollicitait de nous que ce témoignage profitât aux élèves de l'Ecole : c'est ainsi que fut fondée une bourse annuelle au profit de l'un de nos futurs collègues.

« Je ne ferai que mentionner les cérémonies extérieures auxquelles la Société a été représentée, le *Centenaire de Fresnel* à Paris et le *Centenaire de Volta* à Côme, car 1927 aura été surtout l'année de l'inauguration de la nouvelle Ecole, grâce aux efforts de la *Société pour favoriser le développement du haut enseignement de l'électrotechnique, en France*, dont notre collègue, M. Geoffroy a été le grand animateur et à qui je renouvelle le témoignage de notre reconnaissance, sans oublier auprès de lui notre ancien Président, Président de la Commission administrative de l'Ecole, M. Jean Rey, dont l'activité convaincante a été si précieuse.

« Tous ces événements se sont produits sous la présidence de M. Ch. Fabry et ceci vient ajouter au prix que nous leur attachons.

« Nous sommes particulièrement heureux que ce soit pendant sa présidence à la *Société Française des Electriciens*, que son élection à l'Académie ait eu lieu ; je devrais dire son acclamation, car je me souviens que M. Fabry a été élu au premier tour par 51 suffrages sur 54. C'est là encore une des satisfactions qui ajoute son lustre à celles de l'année qui vient de s'écouler.

« Enfin, je dois ajouter que c'est encore à l'exercice 1927 que l'on doit rattacher l'acquisition, que nous avons pu faire et que je suis heureux de vous annoncer, de la Maison d'Ampère à Poleymieux, grâce aux libéralités d'Américains qui ont ainsi montré combien ils apprécient la valeur de l'intelligence française et grâce au dévouement de

Digitized by Google

notre groupe du *Sud-Est* et en particulier de son délégué, M. DUMONT.

« M. FABRY disait à la fin de notre dernière séance, qu'une ère nouvelle s'ouvrait pour notre Société à la suite de la construction de la nouvelle Ecole.

« Cette idée conduit tout naturellement à songer à notre avenir. Il est certain que malgré les brillants résultats acquis, nos efforts ne sont pas encore achevés. Les progrès de l'électrotechnique ne s'arrêteront pas ; la science est en marche à pas de géant ; les créations de l'esprit, les découvertes et les inventions nouvelles ne sauront que croître sans limitation. PASCAL n'a-t-il pas dit : « l'imagination se lassera plutôt de concevoir que la nature de fournir ».

« Ceux d'entre vous qui s'occupent de science pure, auront encore de ce côté des peines et des satisfactions inépuisables. Il en sera de même dans la science appliquée : que de développements à prévoir dans les domaines où nous sommes déjà entrés et que d'applications nouvelles.

« Les communications radio-télégraphiques ont fait des progrès remarquables depuis l'introduction du système à ondes courtes ; elles n'ont pas dit leur dernier mot.

« La télévision sera peut-être réalisée pratiquement dans un très court délai. L'appropriation des découvertes antérieures à la musique des ondes éthérées n'en est qu'à son début. Georges CLAUDE et BOUCHEROT nous laissent prévoir, après la houille blanche, l'utilisation de l'énergie thermique des mers et de l'eau glacée du fond des océans. Ne verra-t-on pas se réaliser aussi un jour l'utilisation pratique de l'énergie solaire dont Salomon de CAUS faisait les premiers essais en 1624. Ce qui est également certain, c'est que des extensions encore formidables sont à prévoir dans la distribution de l'électricité et dans ses applications tant à l'électrification des chemins de fer qu'à l'électrochimie, l'électro-métallurgie et l'électrification rurale.

« Notre consommation par tête d'habitant n'est que le tiers de celle des Etats-Unis et le cinquième de celles du Canada et de la Suisse, et cependant le chiffre d'affaires de la construction électrique dépasse déjà 4 milliards de francs par an.

« Dans la région parisienne seule, la production du courant électrique a atteint en 1927 : 1 600 000 kWh et cette production est, malgré la crise, en accroissement de plus de 6 pour cent sur l'année précédente. Une reprise se manifeste depuis le début de cette année.

« Tous les espoirs sont donc permis à ceux qui, comme vous, s'occupent d'électrotechnique, mais pour assurer le succès de notre in-

Digitized by Google

dustrie, il ne faut pas compter uniquement sur notre glorieux passé. Vis-à-vis de l'étranger qui cherche en France des débouchés à son activité et dans l'intérêt du développement de nos exportations, nous devons nous efforcer de faire triompher dans le monde notre pensée et nos œuvres. Notre civilisation française, nos inventions, nos écoles, constituent une arme puissante entre les mains de la France et de l'Industrie Française et il est nécessaire que notre prédominance intellectuelle soit conservée.

« Aussi, à côté de la concentration des efforts industriels, de la *rationalisation industrielle*, suivant l'expression en vogue, il convient de réaliser la rationalisation des idées. Votre Société est de celles qui peuvent et qui se doivent de réaliser cette rationalisation des idées dans le domaine de l'électrotechnique.

« *La Société Française des Electriciens* n'est pas seulement une société savante, elle rattache à elle deux éléments vitaux pour l'industrie : le Laboratoire et l'Ecole.

« Il faut que les moyens financiers nécessaires soient donnés à l'Institution pour lui permettre non seulement de se maintenir, mais de se développer. Le nombre des Membres de notre Société est tout à fait insuffisant. Bien que nous soyons aujourd'hui plus de 2 000 (2 077 au 1er février contre 1 799 au 1er janvier 1927), ce chiffre demeure infime si on le compare à celui de l'*Institution of Electrical Engineers*, car ils sont en Angleterre — dans un pays où le développement de l'électrotechnique est moindre que chez nous —, plus de 12 000.

« L'Ecole a formé depuis son début : 3 678 ingénieurs diplômés, dont 475 dans la Section Radiotélégraphique.

« Il n'y a guère plus de 800 anciens élèves qui font partie de la Société. C'est trop peu. Nous ne comprenons pas assez en France notre devoir personnel envers les écoles qui nous ont fait ce que nous sommes ; tous nos anciens élèves devraient faire partie de la Société et consentir le léger sacrifice de la cotisation annuelle dès qu'ils se sont trouvé une situation. Ils se doivent également de devenir Membres de la Société Amicale qui est à la fois une Société de placement et une Société de secours, car il y a toujours des malchanceux à secourir et nous avons le devoir de nous aider les uns les autres.

« Quant aux Sociétés qui bénéficient directement ou indirectement de notre activité, si certaines d'entre elles ont montré la hauteur de vues que nous attendions d'elles, il en est d'autres qui n'ont pas encore rempli leur devoir.

« *La Société pour favoriser le développement du haut enseignement*

Digitized by Google

de l'électrotechnique en France a fait récemment un appel en vue d'une augmentation de capital nécessaire à l'achèvement des travaux de la nouvelle Ecole : cette augmentation n'a pu être réalisée que grâce aux disponibilités de trésorerie provisoires de la *Société Française des Electriciens*, bien que l'Etat, le département de la Seine, la ville de Paris nous aient apporté de larges concours. Il faut que les 550 000 francs qui ont été ainsi avancés par la Société savante, soient repris par les Sociétés industrielles qui n'ont pas encore souscrit ou qui ont insuffisamment souscrit.

« Je compte qu'à la suite du nouvel appel qui va être adressé aux unes et aux autres, nous aurons avant quelques mois mis complètement sur pied l'organisation nouvelle de notre centre de haute culture électrotechnique. Mais nous n'aurons pas encore terminé notre tâche, car nous aurons à envisager plus tard un problème plus large : celui du Laboratoire dans lequel l'étranger nous a si considérablement devancé.

« Vous savez les travaux remarquables qui sont déjà sortis de notre Laboratoire, grâce à l'intelligente activité de M. Jouaust et de ses collègues, trop rares hélas. Nous devons reconnaître que nous n'avons pas mis à leur disposition l'outillage et les moyens d'action qu'ils étaient en droit d'escompter pour leur permettre de procéder à toutes les recherches qui peuvent être si utiles à l'industrie française.

« C'est en effet, qu'à côté du rôle du Laboratoire de contrôle que remplit très dignement notre organisme, le rôle du Laboratoire d'études et de recherches n'est pas suffisamment développé. D'autres pays que le nôtre, les Etats-Unis notamment, ont affecté aux recherches de laboratoire des dotations formidables. Les hommes qui ont fourni de semblables libéralités ont compris que la Science et la Technique étaient intimement liées. Ils ont apprécié l'utilité qu'il y a à laisser à chacun des savants qui procèdent aux recherches sa propre individualité ; mais ils ont vu qu'il convenait de choisir et de diriger ces recherches, de façon qu'on puisse utiliser les découvertes scientifiques dans la pratique. Ils se sont rendu compte, en outre, que les laboratoires particuliers à chaque industrie gagnaient à ne pas vivre isolément, mais à se grouper autour d'un laboratoire central qui assume la coordination et la sécurité de leurs efforts. Ce qui a pu être créé dans d'autres pays, il ne peut pas être impossible de le réaliser dans le nôtre. Le Laboratoire Central d'Electricité doit devenir le Grand Laboratoire de l'Electrotechnique, qui assurera dans les limites convenables le contrôle technique des laboratoires industriels

Digitized by Google

et qui, avec un personnel de choix très élargi auquel on donnera tous les moyens d'action nécessaires, procédera aux recherches scientifiques sur lesquelles se seront préalablement concertés les industriels et les savants, qui ont fait de la Société Française des Electriciens ce qu'elle est déjà.

Pour remplir ce qui sera le programme de l'avenir, il nous faudra donc de nouveaux concours financiers; je suis persuadé que nous les trouverons.

Il nous fallait 14 millions pour construire l'Ecole Supérieure d'Electricité; on ne nous refusera pas le supplément de fonds nécessaires pour compléter l'œuvre de l'Ecole par celle du Laboratoire.

En ce qui concerne nos dépenses d'exploitation, grâce aux suggestions de notre trésorier, M. Marcel Meyer, concernant l'application de la taxe d'apprentissage, notre budget s'approche actuellement de l'équilibre.

Quand notre Société s'est constituée, son budget annuel était de l'ordre d'une cinquantaine de mille francs. En 1914, il atteignait 300 000 francs-or. Il ne dépasse pas aujourd'hui 1 800 000 francs en francs-papier, c'est-à-dire qu'il est resté sensiblement au niveau de 1914.

Dans ce chiffre, le budget de la Société Savante ne représente qu'environ 200 000 francs-papier, l'Ecole et le Laboratoire absorbant la plus grosse part.

Si l'on considère que le budget de l'Institution of Electrical Engineers qui n'a ni Ecole ni Laboratoire est de 38.000 livres, soit 4.500.000 francs-papier, on voit combien notre Société Française des Electriciens a été parcimonieuse et modeste. Il faudra donc élargir notre budget; mais il suffira de ce côté que les efforts actuels soient poursuivis et généralisés pour que notre situation devienne satisfaisante.

Veuillez m'excuser d'avoir trop longuement développé mes impressions d'industriel. En jetant un coup d'œil sur le passé, en constatant les glorieux succès du présent, je croyais tout d'abord que tout avait été accompli. Il nous reste au contraire beaucoup à faire. J'ai confiance dans l'avenir parce que j'ai confiance dans la compréhension que vous avez de la nécessité qu'il y a pour les savants comme pour les industriels à ne pas vivre isolément, mais à avoir des échanges de vues de plus en plus fréquents.

Les hommes ont besoin, comme l'a dit Montaigne, de constamment « frotter leur cervelle contre celle d'autrui. »

Digitized by Google

Les réunions périodiques si cordiales que nous tenons ici et nos rapprochements constants sur le terrain du progrès assureront certainement l'union dans nos aspirations et l'esprit de solidarité dans nos efforts communs pour réaliser ces aspirations.

M. le Président remet ensuite à MM. Decaux, Fournier et Fromy, titulaires du legs Ancel pour 1927, une médaille en bronze à l'effigie de Ch. Mascart, en même temps que le montant du prix qui leur a été alloué pour récompenser leur travail sur :

M. Decaux : *Les applications nouvelles des lampes à quatre électrodes* ;

M. Fournier : *La télégraphie optique à écoulement rapide des signaux* ;

M. Fromy : *L'effet Wiedemann*.

L'ordre du jour appelant les communications techniques, M. Mesny présente une communication sur « *la propagation des ondes électromagnétiques* » (1).

M. Mesny fait un exposé complet de l'état actuel de la question des ondes courtes et passe en revue les différentes hypothèses et études théoriques qui ont permis de rendre compte d'une manière aussi satisfaisante des anomalies des propagations des ondes courtes, et notamment de l'influence que manifeste certaines longueurs d'onde sur le champ magnétique terrestre.

M. le Président remercie vivement M. Mesny de sa communication, qui a entraîné ses auditeurs si loin dans un voyage à travers l'espace et qui leur a fait connaître à la fois combien de grands travaux ont été faits récemment et combien il reste encore à faire dans cette voie, les expériences étant encore très contradictoires.

M. Fournier présente ensuite une communication sur « *la télégraphie optique à écoulement rapide des signaux.* »

M. le Président remercie M. Fournier de cette intéressante communication et des indications très remarquables qu'il a données en ce qui concerne la téléphonie optique et la transmission à distance.

M. Decaux présente sa communication sur « *les applications nouvelles des lampes à quatre électrodes.* »

M. le Président le remercie de son intéressant exposé et adresse encore une fois à M. Cornet les remerciements de la S. F. E.

La séance est levée à 18 h. 50.

(1) Cette communication sera publiée dans un numéro ultérieur de l'*Onde Électrique*.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

APPLICATIONS NOUVELLES DES LAMPES A QUATRE ÉLECTRODES [1]

par M. DECAUX.

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique
Ingénieur E. S. E.
Ingénieur à la Radiotélégraphie Militaire

Les applications des lampes à quatre électrodes, utilisées couramment depuis quelques années seulement, se sont développées avec rapidité. Créées, à l'origine, dans des buts bien déterminés, elles ont permis par la suite de réaliser des appareils très variés et intéressants [2].

Depuis plus de deux ans, sous la direction de M. JOUAUST, nous avons entrepris, dans les laboratoires de la Radiotélégraphie militaire, l'étude systématique des propriétés de ces tubes, et mis au point quelques appareils nouveaux les utilisant.

Réduction de la tension de plaque. — L'utilisation la plus simple des lampes à deux grilles consiste à les substituer aux triodes sur les amplificateurs normaux. La présence de la grille intérieure (grille de champ) permet d'abaisser notablement la tension anodique. On peut ainsi réduire le poids et l'encombrement des batteries, sans modifications des appareils, ce qui est précieux pour les récepteurs portatifs ou militaires. Citons comme exemple la réception de stations américaines sur cadre avec un amplificateur Z normal de la R. M. avec une batterie de plaque de 1 V.

Les petites dimensions des batteries nécessaires à l'alimentation des bigrilles à faible consommation rendent facile l'introduction de ces batteries dans la boîte même de l'appareil. Nous avons réalisé dans ce sens des étages d'amplification en haute-fréquence indépendants, en-

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la Société du 4 février 1928.
(2) Nous en avons signalé un certain nombre dans l'*Onde Electrique* de janvier 1927.

Digitized by Google

tièrement renfermés, avec les batteries, dans des coffrets métalliques formant écran. On peut ainsi accoupler plusieurs étages successifs sans réactions gênantes.

La faible tension anodique nous a conduit à étudier des appareils dans lesquels cette tension est fournie par les signaux eux-mêmes. On peut ainsi réaliser un dispositif transformant en tops brefs des signaux ayant une certaine durée (1). La tension est appliquée aux anodes par l'intermédiaire d'un système résistance-capacité limitant la durée du phénomène (fig. 1).

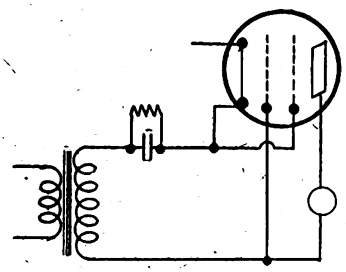


Fig. 1.

La puissance mise en jeu, en oscillation, dans des lampes à deux grilles, est très faible; on peut ainsi réduire considérablement les brouillages causés par le rayonnement des autodynes, hétérodynes ou récepteurs à superréaction. Cela permet le rapprochement des récepteurs.

Signalons, pour terminer cette revue des appareils à faible tension de plaque, la nouvelle lampe à deux grilles pour amplificateurs basse-fréquence de puissance fabriquée par les Etablissements Grammont. Nous étudions des transformateurs spéciaux utilisant au mieux les propriétés fort intéressantes de ce tube.

Lampes à fonctions multiples. — La grille supplémentaire permet de faire remplir au tube plusieurs fonctions simultanées plus facilement qu'avec les triodes. L'amplification double en haute et basse fréquence (reflex) peut se réaliser surtout en utilisant la grille intérieure comme une seconde plaque. Le montage de la figure 2, employant des circuits d'entrée en dérivation (avec bobine de choc), donne une stabilité intéressante.

L'entretien simultané d'oscillations de deux fréquences différentes

(1) Cf. *Onde El., loc. cit.*, p. 12.

Digitized by Google

est le but principal, actuellement, des tubes bigrilles, sous la forme du « radiomodulateur ». Nous avons étudié des montages du même genre n'exigeant qu'une tension de plaque réduite comme les amplificateurs décrits plus haut. Si l'une des fréquences est musicale, on obtient un générateur d'ondes entretenues modulées. Il est possible également de monter une lampe détectrice autodyne profitant d'une

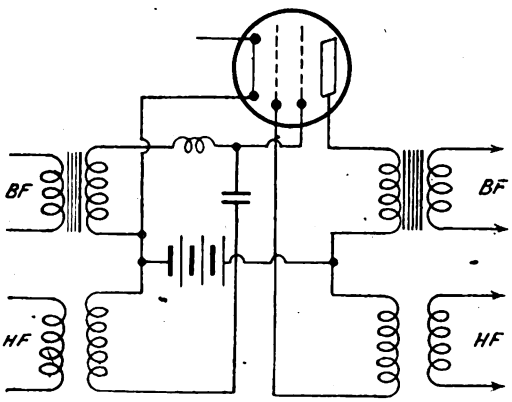


Fig. 2.

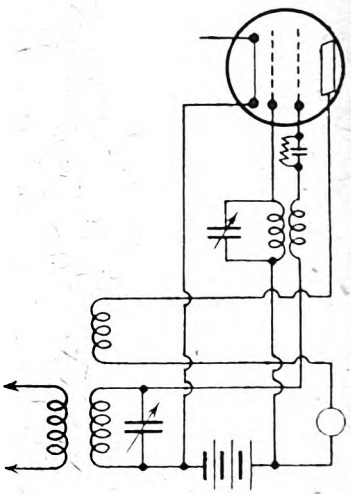


Fig. 3.

réaction supplémentaire, sans perte de rendement par désaccord comme dans les montages normaux. La figure 3 montre un exemple de ces appareils. Nous avons pu ainsi réaliser un amplificateur haute-fréquence pour ondes de 3 000 à 20 000 m à 4 lampes, comportant 3 étages d'amplification par transformateurs semi-résonnants, détection, hétérodyne et réaction. Cet ensemble donne sur cadre des résultats très satisfaisants comme sensibilité et syntonie.

Montages à réaction par résistance (ou impédance) de couplage. — Si l'on fait le retour aux batteries des deux circuits de grilles par une résistance (ou impédance) commune Z, on constitue un couplage entre ces deux circuits (fig. 4). Grâce au fait que la caractéristique de grille intérieure (par rapport à l'autre), est en sens inverse de celle d'une plaque, ce couplage (positif) peut produire de la réaction. D'autre part, le circuit de grille intérieure présente dans certaines conditions une caractéristique de résistance négative. Ces propriétés permettent d'envisager des usages très spéciaux des tubes à 4 électrodes (dans lesquels le réglage se fait généralement par le chauffage).

Digitized by Google

Rappelons (1) que l'on peut, par ce procédé, entretenir des oscillations dans un circuit (impédance) sans couplage auxiliaire. Cela peut être intéressant par la suppression d'organes souvent encombrants et lourds.

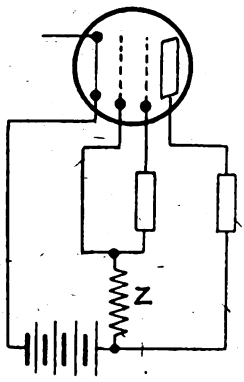


Fig. 4.

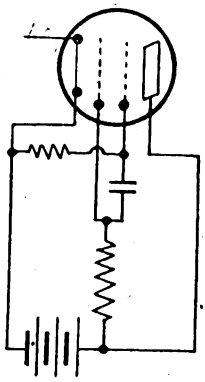


Fig. 5.

Certains auteurs, en particulier Van Der Pol (2), ont signalé une curieuse application de ces circuits : la production d'oscillations de « relaxation », c'est-à-dire la décharge périodique d'un condensateur dans une résistance. Le phénomène est analogue à celui qui est produit par les tubes à néon ou les multivibrateurs. Les propriétés des lampes bigrilles, permettent de tirer un parti intéressant de ces oscillations (fig. 5).

Nous les avons d'abord employées pour obtenir un « balayage » en fonction du temps dans un oscillographe cathodique. On atteint des fréquences plus élevées que dans les tubes à néon, avec des tensions bien moindres.

Dans le but de constituer un étalon de fréquences, nous avons utilisé le montage précédent comme multivibrateur. Si l'on dispose, entre la seconde grille et la plaque, les circuits d'entretien d'un diapason, celui-ci, dans certaines conditions, impose sa période au système; on possède ainsi une source d'harmoniques d'une fréquence connue et constante. Ce dispositif semble devoir rendre des services dans les mesures précises de longueurs d'ondes.

Au lieu de faire synchroniser ce multivibrateur par une source de fréquence égale à la sienne, on peut utiliser dans ce but une source de fréquence sous-multiple. Un diviseur de temps synchronisé par

(1) Cf. *Onde El., loc. cit.*, p. 15.
(2) *Philosophical Magazine*, novembre 1926.

Digitized by Google

une pendule astronomique, réalisé par cette méthode, est en cours d'étude.

Si l'on règle des circuits à résistance de couplage en deçà de la limite d'entretien, on dispose d'un amplificateur à réaction que l'on peut rendre indépendant. Ce montage (décrit d'ailleurs dans le brevet allemand n° 442 445 de SIEMENS et HALSKE et par divers auteurs)

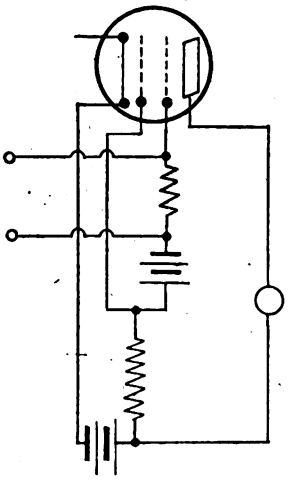


Fig. 6.

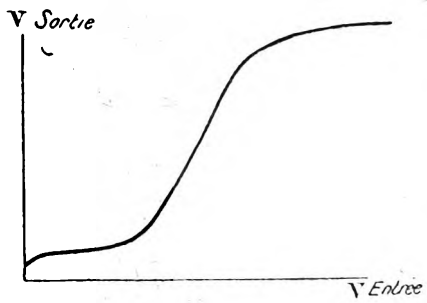


Fig. 7.

(fig. 6) peut avoir une grande sensibilité. Souvent l'amplification n'est pas constante en fonction de la valeur des signaux reçus. On a un fonctionnement analogue à celui d'un relais (fig. 7).

Un amplificateur-relais monté de cette manière, destiné au sondage par ultra-sons et à l'enregistrement nous a donné, grâce à la lampe puissante Fotos, des résultats intéressants. Moyennant quelques modifications, il est possible d'obtenir d'un circuit analogue un notable effet antiparasite par limitation.

Autres études en cours. — Nous étudions encore diverses autres applications de ces tubes. Nos buts principaux sont l'augmentation de la sensibilité, la simplification et la stabilisation des réglages, avec réduction de la tension de plaque.

En particulier, un récepteur à réaction pour ondes très courtes dans lequel l'accord est pratiquement indépendant de la réaction, et un récepteur à plusieurs étages pour ondes moyennes, avec commande unique et « reflex » stable, promettent des résultats intéressants.

Digitized by Google

TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE A ÉCOULEMENT RAPIDE DES SIGNAUX [1]

par M. Fernand Fournier,

Ingénieur.

La réception des signaux en télégraphie optique se faisant au moyen de l'œil, la vitesse de transmission est très lente, même avec un personnel exercé. La perception des points lumineux dont la brillance est à peine plus élevée que celle du ciel produit, de jour, une fatigue telle qu'il est très pénible de passer un télégramme de quelque importance.

Depuis la découverte des propriétés électriques du sélénium, un grand nombre de chercheurs ont tenté de substituer à l'œil ce détecteur physique, soit pour accroître la rapidité des transmissions optiques, soit pour assurer une transmission de la parole au moyen de rayons lumineux.

Des expériences très intéressantes furent effectuées par Graham Bell, par Simon, par Ruhmer, mais dès le début de ces tentatives, on s'aperçut que la puissance nécessaire à l'émission pour assurer une transmission satisfaisante n'était pas en rapport avec la portée obtenue.

L'invention des transmissions par ondes hertziennes contribua aussi à l'abandon des recherches sur les procédés de transmissions optiques.

Ce fut la découverte des lampes amplificatrices qui a ouvert une voie nouvelle à la technique de ces transmissions.

Les recherches furent entreprises pendant la guerre dans presque toutes les nations et des résultats nouveaux et encourageants furent réalisés.

Nous envisageons uniquement dans cette note un dispositif permettant d'assurer une liaison télégraphique bilatérale au moyen d'un appareillage simple. Nous nous sommes efforcés d'obtenir une vitesse de transmission analogue à celle de la T. S. F. Le fonctionnement

---

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la Société du 4 Février 1928.

Digitized by Google

doit être assuré de jour et de nuit avec la même sensibilité sans provoquer de perturbations dans les autres moyens de transmission (téléphone ou télégraphe avec ou sans fil) et sans être brouillé par eux.

La première étape vers la solution du problème fut la réalisation d'un dispositif de réception aussi sensible que possible et composé d'un élément détecteur et d'un amplificateur.

Nous avons réalisé un amplificateur à 4 étages basse fréquence à lampes bi-grilles ne nécessitant pour toute alimentation que 2 batteries d'accumulateurs de 4 volts. Mais, nous ne prétendons pas voir là une solution définitive du problème, nous pensons seulement que cet appareil est suffisamment sensible et stable pour assurer un bon service.

Pour l'élément détecteur, nous avons effectué une série d'essais sur des éléments au sélénium.

Ces éléments doivent répondre à des conditions de fonctionnement un peu particulières. D'abord, destinés à être mis au foyer d'un système optique convergent, ils doivent supporter, sans perte de sensibilité, des éclairements très intenses; le rapport entre la surface de l'élément détecteur et la surface active fournie par la tache focale doit être aussi grand que possible et cependant offrir un champ de réception admissible (en particulier avec les couples thermoélectriques, cette condition n'est pas remplie d'une façon satisfaisante).

De plus, quand on relie la cellule à son amplificateur, on a constaté des oscillations rapides de résistance qui provoquaient des bruits parasites intenses dans les écouteurs.

Si l'oreille s'accommode encore assez facilement de cet état de choses et parvient à discerner des sons musicaux, malgré un bruit de friture assez violent, il ne faut pas songer à enregistrer des signaux dans de telles conditions.

L'élimination de ce défaut dû à des fractures microscopiques nous a conduit à entreprendre une étude complète de la fabrication des éléments récepteurs et nous présentons aujourd'hui un élément dont la couche très mince est stable et dont la sensibilité très élevée n'est pas affectée par l'éclairement.

La matière active (sélénium ou ses succédanés) est étendue sur une pastille de silice, puis sensibilisée; 2 électrodes maintenues par pression assurent un excellent contact, le tout est enfermé dans une ampoule vide d'air de façon à éliminer les variations de résistance provoquées par l'humidité.

La résistance d'un tel élément est comprise entre 100 et 500 mégohms;

Digitized by Google

la courbe de sensibilité spectro-photoélectrique montre un maximum vers la région 1μ, la sensibilité cesse à 1μ3 dans l'infra-rouge, et donne quelque sensibilité vers 6 000 U A° dans le visible, nous avons donc un excellent détecteur de radiations dans le rouge et le proche infra-rouge. Armé de ce détecteur sensible, nous avons abordé le problème de l'émission. Le maximum d'efficacité est obtenu pour une fréquence donnée, lorsqu'on module la totalité de l'intensité lumineuse émise par la source, c'est le résultat que l'on obtient en intercalant entre la source et le récepteur une roue percée de trous qui interrompt ou laisse passer la lumière à la fréquence voulue.

Malheureusement ce procédé n'est pas sans inconvénient et il est impraticable dans le cas d'une source placée au foyer d'un miroir à court foyer. On peut songer à placer en série dans le circuit d'alimentation de la lampe un ticker coupant le courant à fréquence musicale : ce procédé fût très employé mais ne donne, même pour les petites puissances, qu'un taux de modulation très faible à cause de l'inertie calorifique du filament : on obtient une modulation de 1/200 de l'énergie totale émise par la lampe pour la région de 1 μ et 1/150 pour la région 5 500 U A°, ceci pour les lampes à filaments de tungstène travaillant à 2 300° K sous une pression d'azote de 1 cm.

Dans cet ordre d'idées, l'emploi d'un arc alimenté par du courant continu auquel on superpose un courant à fréquence musicale, ne donne qu'un taux de modulation encore insuffisante, 1/60 environ de l'énergie lumineuse totale pour les radiations comprises entre le 4 000 et 8 000 U A°. En ce qui concerne la lampe au néon ou à luminescence, la modulation de telles sources est commode et peut être totale, mais la faible brillance de ces lampes limite l'énergie à l'émission.

Tous ces dispositifs nécessitent une manipulation par allumage ou extinction de lampes, ce qui offre l'inconvénient de limiter la vitesse de réception, les points sont arrondis et les signaux confus.

Pour éviter ces défauts nous avons utilisé le dispositif suivant (Brevet français 602.001).

Entre la source et le système optique, on intercale une trame formée d'une lame de verre gravée et portant des traits opaques dont l'épaisseur est égale à l'intervalle séparant deux traits successifs. Cette trame est solidaire du bâti portant la source lumineuse et le miroir et ses dimensions sont telles que tous les rayons issus de la source et tombant sur le miroir doivent traverser la trame. Contre cette trame se déplace

Digitized by Google

une autre trame identique comme dimension et comme nombre de traits au centimètre. On voit donc que si les traits sont parallèles ou en coïncidence, 50 pour cent de l'énergie lumineuse ira de la source vers le miroir. Si au contraire, on déplace la trame mobile de la largeur d'un trait, l'obturation est complète et l'ensemble des 2 trames forme obturateur et aucun rayon lumineux ne passe de la source vers le miroir.

La trame mobile est fixée mécaniquement à une lame vibrante excitée électriquement et l'ensemble réglé pour la résonance mécanique du système soit 800 à 1 000 périodes par seconde.

Il suffit d'intercaler un manipulateur dans le circuit d'excitation de la lame pour assurer la commande au rythme de la manipulation Morse.

Ce dispositif a l'avantage de consommer peu d'énergie (1 watt environ), de donner à la réception des points et des traits particulièrement nets, de pouvoir moduler des sources lumineuses très intenses et placées dans des optiques quelconques, le taux de modulation étant d'environ 20 pour cent de l'intensité lumineuse totale.

Un appareil complet comportera donc 2 miroirs paraboliques en verre : l'un porte le dispositif émetteur (lampe au tungstène, trame fixe et mobile, vibrateur), l'autre porte au foyer l'élément détecteur.

Les câbles de connexion pour l'émission et la réception sont distincts et protégés pour éviter une réaction violente du circuit émetteur sur le circuit d'entrée de l'amplificateur.

Ces câbles aboutissent à une boîte contenant l'amplificateur basse fréquence et les manipulateurs, le premier coupe le circuit de la source lumineuse, le deuxième commande le vibrateur électrique servant de moteur à la trame mobile.

Les axes optiques des miroirs sont parallèles et une lunette à réticule réglable permet le pointage.

Le fonctionnement est le suivant : l'opérateur règle le chauffage des filaments des lampes amplificatrices à la valeur convenable, puis pour transmettre, appuie sur le manipulateur de la source lumineuse qui reste de ce fait allumée pendant toute la transmission et produit un feu fixe.

La transmission des signaux Morse se fait au moyen du manipulateur commandant le vibro-moteur de la trame.

Pour se placer sur la réception, il suffit à l'opérateur d'abandonner ses 2 manipulateurs.

Digitized by Google

Cet appareillage est très simple, robuste, ne comportant que peu de réglage et son fonctionnement pendant une longue période d'expériences n'a fait que confirmer les qualités de stabilité et de robustesse des dispositifs que l'on pouvait craindre un peu fragiles pour un usage industriel.

Ces appareils peuvent être complétés par des dispositifs d'enregistrement ou de retransmission que nous ne décrirons pas, la pratique de la T. S.F. faisant un emploi courant de tels appareils.

Digitized by Google

ÉPURATION ÉLECTRIQUE DU GAZ DE HAUT-FOURNEAU [1]

par M. KERALY,

Ingénieur, Chef du Service Force Motrice aux Aciéries de Dilling.

Composition et emploi du gaz de haut-fourneaux; nécessité de l'épurer; procédés divers d'épuration; principe du procédé électrique; disposition des électrodes; valeur du champ; influence de la polarité des électrodes; action sur les poussières; fonctionnement en courant alternatif; description d'une installation; phénomènes accompagnant le fonctionnement du redresseur; historique du procédé électrique, ses avantages, ses possibilités futures.

Avant d'entreprendre l'étude du procédé d'épuration électrique du gaz de haut-fourneau, je crois utile de dire quelques mots :

du gaz de haut-fourneau lui-même,

de ses propriétés et de ses applications,

de la nécessité de le débarrasser des poussières qu'il contient, des divers procédés employés jusqu'ici pour y arriver (2).

Gaz de Haut-Fourneau. — Du point de vue qui nous occupe le haut-fourneau est un gazogène. Il produit environ 4 500 m³ par tonne de fonte — d'un gaz ayant à peu près la composition suivante :

Gaz de haut-fourneau :	Co^2	11,62	
(Homécourt)	Co	27,92	
	H^2	3,43	100,00
	CH^4	0,20	
	AZ^2	56,83	

et dont le pouvoir calorifique inférieur varie de 900 à 1.000 calories ou m³.

Applications. — Ce gaz, dans une usine métallurgique moderne, est employé :

dans les appareils Cowper réchauffeurs du vent soufflé aux fourneaux ;

aux Chaudières ;

---

(1) Communication présentée en séance publique de la Société française des Electriciens, le samedi 3 décembre 1927.

(2) Cette question a déjà été traitée avec beaucoup de compétence par M. M.-R. Jordan à la Société des Ingénieurs civils de France le 11 juin 1926.

Digitized by Google

aux Fours métallurgiques mélangé avec du gaz de four à coke ou du gaz de gazogène ;
aux Moteurs à gaz des Centrales.

Pour plusieurs raisons trop longues à développer ici, ce gaz contient au gueulard des quantités de poussières, variables suivant l'allure, mais toujours considérables et qui le rendrait impropre aux usages ci-dessus.

Pour les usines du groupement auquel j'appartiens, la teneur en poussière au gueulard varie de 33 à 60 gr. par m^3 de gaz (à 0° et 760mm), soit pour un fourneau capable de 220 tonnes de fonte par jour, un poids de 33 à 60 tonnes environ ou 15 à 27,3 % du poids de la production journalière en fonte.

Nécessité de l'Epuration. — En exceptant, à la rigueur, les chaudières et les fours, la tendance actuelle est de n'employer le gaz qu'après l'avoir débarrassé pour ainsi dire de la totalité des poussières qu'il contient à sa sortie du fourneau. On peut prophétiser, sans grand risque d'erreur, que l'usine métallurgique de l'avenir ne distinguera plus entre les épurations dites primaires et secondaires (ces termes sont déjà presque désuets), mais procèdera à l'épuration totale des gaz de haut-fourneau pour arriver à un seul genre de gaz d'utilisation, dit gaz fin.

Mentionnons aussi en passant que le gaz, à sa sortie du fourneau, contient une assez forte proportion de vapeur d'eau qui diminue son pouvoir calorifique et qu'il faut condenser par refroidissement du gaz au-dessous du point de rosée.

Procédés employés. — On cherche d'abord à séparer les particules les plus lourdes et les plus volumineuses, dans des caisses à poussières, pots à poussières, bouteilles... qui reposent sur le principe suivant :

Caisses. — Dans un courant gazeux vertical dirigé de bas en haut, les poussières contenues dans le gaz, si elles atteignent une certaine finesse, y restent en suspension. Si on les suppose sphériques, leur vitesse limite inférieure d'entraînement par le gaz est :

$$v_0 = \frac{1}{18} d^2 \frac{\delta - \gamma}{\mu}$$

ou δ est la densité de la particule, d le diamètre de la particule et γ le poids spécifique de gaz, μ sa viscosité.

Cette égalité peut se traduire en courbes pour différentes valeurs de γ et de d. (fig. 1).

Ces courbes font bien comprendre comment les poussières se séparent suivant leur grosseur et leur densité.

Tirez une parallèle à l'axe des abscisses pour une vitesse donnée et vous comprendrez facilement que, pour une certaine densité δ, toutes les poussières d'un diamètre supérieur à celui correspondant à la rencontre de la droite et de la courbe seront précipitées.

Digitized by Google

Tous les pots à poussières, quelle que soit leur forme, sont basés sur ce principe. Il s'agit d'y inverser le courant gazeux, de le ralentir de façon à séparer les poussières qui ne peuvent suivre.

Laveurs. — Les épurateurs humides, appelés aussi laveurs, sont basés sur le même principe. Mais comme ils ont pour but de séparer des poussières beaucoup plus fines, on a soin de procéder à un arrosage abondant du gaz, de manière à humecter les poussières et à en augmenter le poids, ce qui en facilite la précipitation, en vertu des considérations ci-dessus.

On n'arrive pas, de la sorte, à séparer du gaz les particules de poussières les plus fines. On attribue ce fait à ce que ces dernières ne se laissent pas

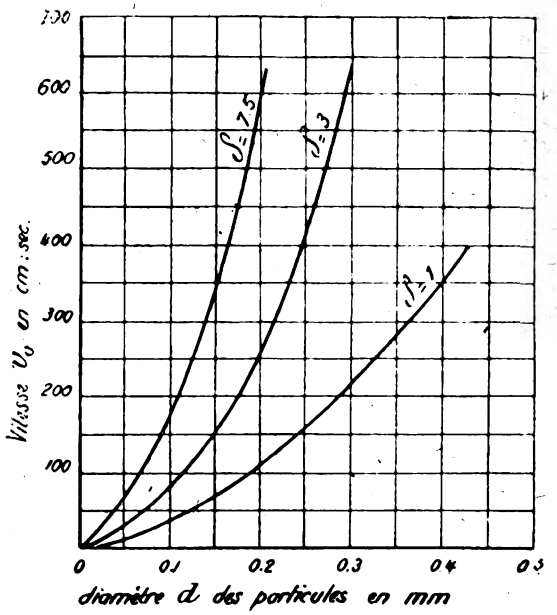


Fig 1.

humecter suffisamment ou échappent même complètement à l'action de l'eau.

Désintégrateurs. — C'est pourquoi, dans les ventilateurs épurateurs ou « désintégrateurs », on s'attache à pulvériser l'eau aussi finement que possible, à la réduire à l'état d'émulsion, de manière que les particules des poussières les plus fines ne puissent échapper à l'action humidifiante de ce brouillard.

Dans ces appareils, le gaz est donc aspiré et intimement brassé avec l'eau pulvérisée. On évacue ensuite l'eau boueuse, dans le même appareil bien entendu, et on laisse sortir le gaz mis en pression. Différentes maisons ont mis au point des appareils de ce genre qui, prenant le gaz à la sortie, d'un refroidisseur ou d'un laveur, l'épure en ramenant sa teneur en pous-

Digitized by Google

sière à 0,020 g par m³ en moyenne. Ce degré d'épuration du gaz de haut-fourneau est suffisant pour toutes les applications envisagées jusqu'ici.

Procédé Halberg-Beth. — Enfin, en dehors de l'épuration, il existe encore un procédé qui donne d'excellents résultats, c'est le procédé de la filtration par sacs, connu sous le nom de filtration Beth ou Halberg-Beth. Dans ce procédé, le gaz passe à travers des sacs d'un tissu spécial à base de coton, je crois. Le procédé n'est pas aussi simple que son principe.

Il faut secouer les sacs dans un ordre déterminé pour faire tomber et évacuer la poussière qui y adhère. Il faut, en plus, réaliser certaines conditions physiques pour le gaz. Nous aurons l'occasion d'y revenir, d'une part, en comparant la filtration par sac avec la filtration électrique, d'autre part, en décrivant, dans les installations de filtration électrique, des détails d'exécution inspirés des installations Halberg-Beth.

La précipitation et l'épuration. — Avant d'entreprendre l'étude de l'épuration électrique, je crois devoir insister sur le fait que : la précipitation électrique des poussières dans les gaz et l'épuration électrique du gaz de haut-fourneau sont deux problèmes plus différents qu'il n'apparaît à première vue ; le premier étant beaucoup plus facile et moins coûteux que le second.

Si le gaz de haut-fourneau, à sa sortie du pot à poussières, contient environ 6 g par m³ et si on ramène cette teneur à 0,010 g, on lui a enlevé 5,99 g, c'est-à-dire les 99,83 % de la poussière qu'il contenait. On se contente de bien moins dans la précipitation électrique des poussières.

Principe du procédé électrique. — Le principe de la précipitation électrique des poussières dans les gaz et par suite de l'épuration électrique des gaz de haut-fourneaux est le suivant :

On fait passer le gaz entre des électrodes parallèles entre lesquelles on crée un champ électrique ; on charge électriquement les poussières, de manière qu'elles soient repoussées par une électrode et attirées par l'autre où elles se déposent en abandonnant leur charge.

De l'énoncé de ce principe, on peut dégager les points principaux de notre étude :

création du champ ;
charge des particules ;
leur mouvement ;
leur évacuation.

Tout est évidemment pour le mieux si on communique aux particules une charge toujours de même signe et si on les soumet également à un champ toujours de même sens — la chose est possible — et de cette façon les particules sont toujours sollicitées dans la même direction.

On peut, dans ce but, produire le champ entre électrodes de diverses formes, cylindres concentriques (le cylindre intérieur se réduisant à un fil),

Digitized by Google

fils et plans parallèles, plans parallèles. La pratique a indiqué rapidement les formes les plus avantageuses, mais le seul raisonnement peut servir de guide dans cette voie.

Electrodes cylindriques. — Dans le condensateur classique formé de deux cylindres concentriques séparés par une couche d'air ou de gaz, le champ est de la forme :

$$H = \frac{U}{x \cdot Lg \frac{R}{r}}$$

x = distance au centre, U tension alternative redressée, R et r rayons extérieur et intérieur.

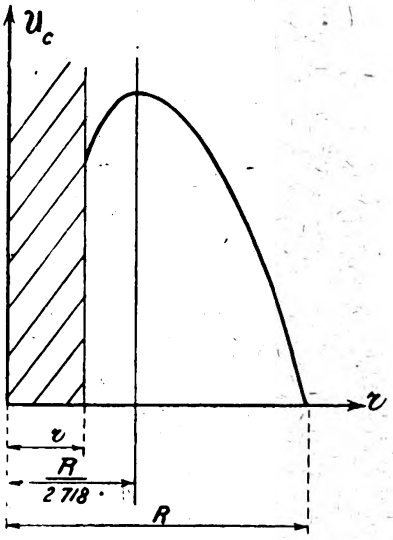


Fig. 2.

La valeur critique sur champ correspondant à la rupture étant HcU_c, atteinte pour $x = r$, correspond à une tension limite

$$U_c = H_c . r . Lg \frac{R}{r}.$$

Il est intéressant de savoir comment on peut choisir Uc pour diverses valeurs de r ou inversement,

$$\frac{dU_c}{dr} = H_c \left(r \frac{-\frac{R}{r^2}}{\frac{R}{r}} + Lg \frac{R}{r} \right) = H_c \left(Lg \frac{R}{r} - 1 \right)$$

dérivée positive tant que $\frac{R}{r}$ est supérieur à e ou 2,718.

L'examen de la courbe $Uc = f(r)$ n'est pas sans intérêt. Remarquons

Digitized by Google

que nous n'atteignons le champ critique qu'au niveau du cylindre intérieur ; il s'y formera, nous le verrons, une pellicule conductrice très favorable au but que nous cherchons, mais qui n'aura pas de tendance à s'étendre vers l'extérieur, puisque, de ce côté, on va vers des valeurs de r n'amenant la rupture que pour des tensions supérieures. La courbe offre pour r le choix de 3 régions, l'une stable, l'autre incertaine, la troisième amenant la rupture entre électrodes. (fig. 2).

Electrodes parallèles. — Entre deux plaques parallèles, où le champ uniforme est

$$H = \frac{U}{d},$$

la tension critique est $U_c = H_c\, d$.

Une fois la valeur critique atteinte, la rupture ne s'arrête plus.

Nous n'avons plus ici la pellicule lumineuse, caractéristique des champs non homogènes. C'est cette raison, entre autres, qui a fait adopter les électrodes cylindriques concentriques.

Ces considérations, si elles ne sont pas exactes dans le détail, font bien comprendre l'avantage des champs non homogènes.

Rappelons brièvement que, pour expliquer l'ionisation, on admet avec Rutherford que l'atome neutre est constitué d'un noyau central positif peu développé et d'un essaim de satellites négatifs appelés électrons. *Les charges de noms contraires s'équilibrent, tant que l'atome reste neutre.* Mais diverses influences arrivent à troubler cet état : un ou plusieurs électrons peuvent quitter le système pour aller charger négativement un atome primitivement neutre, l'atome abandonné devenant positif, puisque la charge du noyau y prédomine. D'autres échanges sont possibles. C'est le jeu des phénomènes d'ionisation.

L'ionisation par choc semble jouer un rôle capital dans l'épuration électrique des gaz.

Pour des raisons diverses, il doit exister, *dans un gaz non conducteur, des ions* des deux signes à l'état libre. Soumis à un champ suffisamment puissant, ils acquièrent, au bout de leur libre parcours, une énergie cinétique suffisante pour que leur choc contre des atomes neutres sépare ces derniers en deux parties, l'une positive, l'autre négative, qui peuvent se recombiner ensuite, soit entre elles, soit à des charges existantes de nom contraire ; mais, si l'ionisation par choc est suffisamment amorcée, en d'autres termes, si le champ atteint une valeur suffisante, dite valeur critique, l'espace gazeux est traversé par un courant : les ions positifs se dirigeant vers la cathode, les négatifs vers l'anode.

On voit, de suite, que le phénomène peut être plus ou moins facilité par la forme des électrodes et leur disposition, puis que de l'une et l'autre dépend la fréquence probable des rencontres et des chocs. Le fil central, entouré d'un cylindre est extrêmement favorable à la production de ces chocs au voisi-

Digitized by Google

nage du fil. *Le fait est accompagné de vibrations lumineuses appelées* EFFET CORONA OU COURONNE.

La pratique a d'abord montré qu'il était préférable de relier l'électrode centrale au pôle négatif de la source, l'électrode périphérique étant mise à la terre. Des considérations physiques ont donné, par la suite, les raisons de cette préférence. D'une part, c'est un fait connu de longue date qu'il y a moins de tendance à l'amorçage avec cette disposition des polarités ; ensuite, la mobilité des ions négatifs et des électrons étant supérieure à celle des ions positifs, il semble naturel de chercher à produire le choc au moment où les premiers sont au début et les derniers à la fin de leur trajet. Nous supposerons par la suite qu'on conserve toujours cette polarité.

Il y a donc, au voisinage immédiat du fil central, une zône mince dans laquelle prennent naissance des charges des deux signes, les positifs se dirigeant vers la cathode, les négatifs vers l'anode. L'espace compris entre cette région resserrée et l'électrode extérieure, en somme la plus grande partie de la section offerte au gaz, se trouve donc parcourue par des charges en majorité d'un même signe rayonnant vers le cylindre enveloppant.

Si nous avons pu jusqu'ici comprendre assez facilement ce qui se passe dans le procédé, ou du moins en trouver des raisons plausibles, nous tombons dans l'incertitude quand il s'agit de réaliser la manière dont les particules se chargent.

Charge des Particules. — On pourrait croire que la foule des poussières montant dans le tube épurateur va rencontrer la foule des électrons transversaux et que ceux-ci vont charger celles-là par contact. Il n'en va pas si simplement. Tous les physiciens sont d'accord pour reconnaître que, dans la dernière phase de l'épuration surtout, c'est-à-dire celle pendant laquelle les poussières sont plus petites et plus rares, de telles rencontres ont extrêmement peu de chance de se produire.

On admet, en général, que la charge des particules a lieu par influence. *Les électrons ou les ions attirent, par influence, les particules voisines et leur communique ainsi leur charge.* Encore faut-il que les porteurs de charge passent suffisamment près des poussières. M. Seeliger l'explique en disant que les électrons et ions y arrivent parce qu'ils participent au mouvement thermique des molécules gazeuses et en faisant certaines suppositions il trouve une formule d'après laquelle le temps nécessaire pour qu'une particule reçoive une charge déterminée croît très vite en raison de la charge, ce qui était à prévoir, et aussi en raison inverse du rayon de la particule, circonstance défavorable à la précipitation des particules les plus petites et que l'expérience confirme bien.

Je ne suis pas suffisamment physicien pour juger de la valeur de cette hypothèse que M. Seeliger propose, du reste, avec d'extrêmes réserves. Mais je dois signaler que les essais effectués à Dilling nous ont montré que l'humidité du gaz exerce sur son épuration une influence déterminante que

Digitized by Google

nous avons étudiée méthodiquement. Nous sommes parvenus à en trouver les raisons physiques, nous nous proposons de revenir sur ce sujet dans une communication ultérieure.

Autres actions. — Cette action du champ sur les particules chargées, telle que nous venons de l'expliquer, n'est pas la seule qui s'exerce sur ces particules, mais on a tout lieu de croire que les autres n'exerceront qu'une influence secondaire.

Signalons toutefois, celle du gradient de potentiel.

Dans une particule non électrisée, conductrice ou isolante, située dans un champ, des charges égales et de signes contraires se répartissent par influence. Le champ n'étant pas uniforme, les quantités égales d'électricité qui, par influence se placent de chaque côté de la particule, subissent des actions inégales, celle du côté où le champ est le plus fort étant prédominante.

Toutes les considérations exposées ci-dessus font prévoir que cette action, défavorable dans le cas qui nous occupe, sera d'autant plus sensible que la particule neutre sera *plus grosse* et *plus rapprochée du centre.* Ce fait, *ajouté à celui qui existe, au voisinage de l'électrode centrale, des charges des deux signes, fait comprendre que certaines particules puissent gagner le fil central* et s'y déposer. C'est bien ce que nous avons constaté à Dilling.

Possibilité de précipitation avec courant alternatif. — On peut songer à précipiter des poussières en utilisant une tension alternative. On l'a déjà tenté avec succès partiel. On peut supposer que l'électrode émettrice charge pendant chaque demi-période les particules tantôt positivement, tantôt négativement, mais le champ s'étant inversé lui-même, leur mouvement ne se fait pas moins dans le même sens. *Quant à la recombinaison et neutralisation des ions, elle se ferait à chaque inversion de l'onde.*

Un Américain nommé Nesbit a réussi à précipiter :

Avec une tension redressée, électrode d'émission négative 98 pour 100
Avec une tension redressée, électrode d'émission positive 70 à 80 pour 100
Avec une tension alternative. . . . . 50 pour 100

de la poussière totale contenue dans le gaz.

Ceci est un peu déroutant, car si tout se passait comme dans notre hypothèse, on devrait obtenir dans le dernier cas, un résultat inférieur au premier, mais supérieur au second. Il faut admettre que les choses n'en vont pas ainsi et le bon sens semble l'expliquer. Il y a tout lieu de croire que la fréquence des inversions empêche la recombinaison des ions de se faire au moment de l'inversion de l'onde, ou qu'elle n'a lieu qu'avec retard. Les poussières gardent probablement leur charge respective et se trouvent sollicitées dans des directions contraires. Il en résulte un désordre qui gêne la bonne marche du procédé.

Digitized by Google

1° *Partie électrique.*

La tension primaire peut être fournie par un petit groupe moteur-alternateur comme à DILLING ou par un branchement sur une phase du réseau comme à WITKOWITZ. Elle est portée de sa valeur primaire à une valeur variable mais de l'ordre de 50.000 V, par un transformateur statique, puis redressée par un redresseur mécanique dont la partie tournante est calée

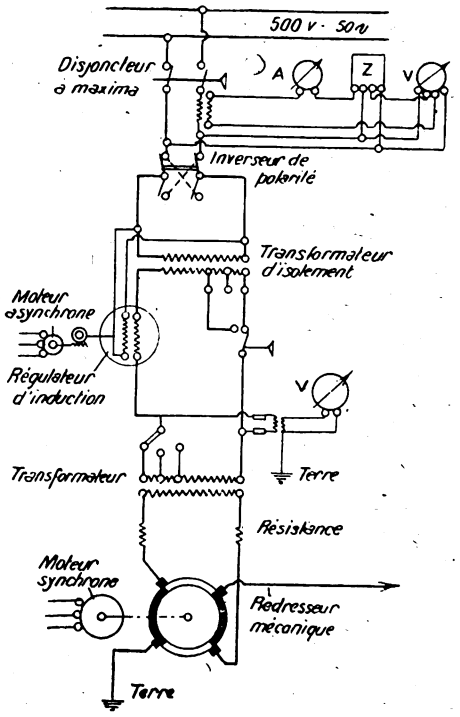


Fig. 3.

sur le même axe que le groupe dans le premier cas, et commandée par moteur synchrone dans le second. (fig. 3).

2° *Partie mécanique.*

Nous n'insisterons pas sur l'installation de DILLING et sur son fonctionnement décrit déjà ailleurs. Les tubes d'épuration parcourus par le gaz de bas en haut et leur électrode centrale sont disposés en faisceaux circulaires ou rectangulaires en nombre variable. Les faisceaux eux-mêmes sont répartis en compartiments ou chambres. Chaque chambre contient ordinairement 2 Faisceaux de tubes. Les chambres sont séparées dans le sens transversal par des cloisons verticales ne les laissant communiquer que dans le bas, du côté de l'arrivée de gaz brut.

Digitized by Google

Par exemple : L'installation de DILLING comporte 6 chambres de deux faisceaux de 7 tubes.

Chaque chambre communique avec le collecteur général de gaz épuré au moyen d'une vanne commandée.

La division en chambres a pour but de les traiter successivement et séparément en cours de marche.

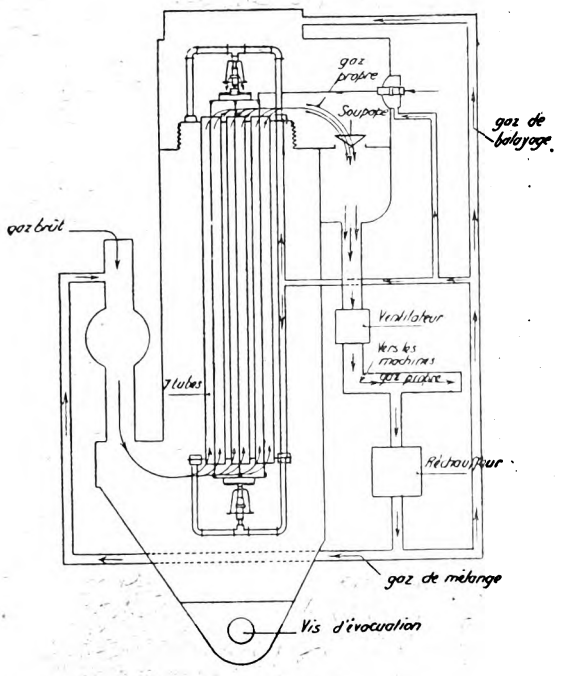


Fig. 4. — **Disposition schématique du procédé d'épuration.**

Pour chacune, l'ordre des opérations est le suivant :

1° Fermeture de la vanne de communication avec le collecteur de gaz épuré : le gaz brut s'arrête.

2° Coupure du courant haute tension et passage d'un contre-courant de gaz épuré et réchauffé, dont le but est d'entraîner les poussières vers le bas.

3° Admission de l'air comprimé pour la mise en mouvement des marteaux frappeurs.

Le rôle de ces marteaux, analogues à des riveuses à air comprimé, est d'asséner sur la tête des faisceaux de tubes des coups vifs et répétés qui font tomber les poussières.

Le contre-courant gazeux mentionné ci-dessus emporte les poussières vers le fond de la caisse pointue d'où elles sont évacuées par vis transporteuse.

Digitized by Google

La remise en route d'une chambre se fait en arrêtant les opérations 1, 2, 3 dans l'ordre 3, 2, 1.

Ces opérations sont commandées par un dispositif ingénieux analogue à ceux des automatiques et jouets mécaniques.

Un schéma fait comprendre le principe adopté ; on y remarque un prélèvement de gaz épuré que l'on réchauffe pour les trois fins suivantes :

a) Réchauffer le gaz brut par mélange.

b) Sécher les isolateurs par soufflage.

c) Chasser les poussières pendant le frappage par contre-courant.

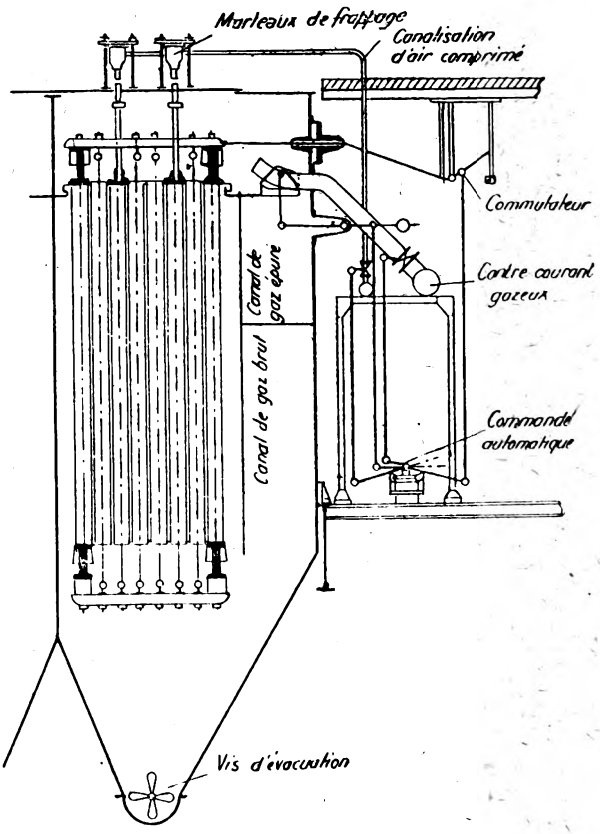


Fig. 5.

Les deux premières opérations se sont, à l'usage, montrées depuis superflues, du moins dans certaines conditions de service, de telle sorte que les installations futures gagneront beaucoup sous le rapport de la simplicité et du prix.

On comprendra facilement qu'une telle installation n'a pas été sans donner lieu, jusqu'à sa mise au point, à des difficultés de tout genre, tant en ce qui concerne la partie électrique que la partie mécanique. Il serait trop long de les énumérer.

Digitized by Google

En bon ordre de marche, l'installation de DILLING ramène la teneur en poussières d'un gaz contenant 4 à 6 g/m³ à 0,025 à 0,002g/m³. Comme, dans la détermination de cette teneur on opère sur des différences de poids minimes, on peut facilement faire des erreurs du même ordre de grandeur que la teneur elle-même.

L'installation donne encore des résultats très satisfaisants pour des surcharges de 50, 75 et 100 pour 100 du volume normal de 12000 m³.

Phénomènes électriques.

Les schémas que nous avons projetés représentent, en particulier celui de Dilling, le redresseur mécanique que nous avons en service.

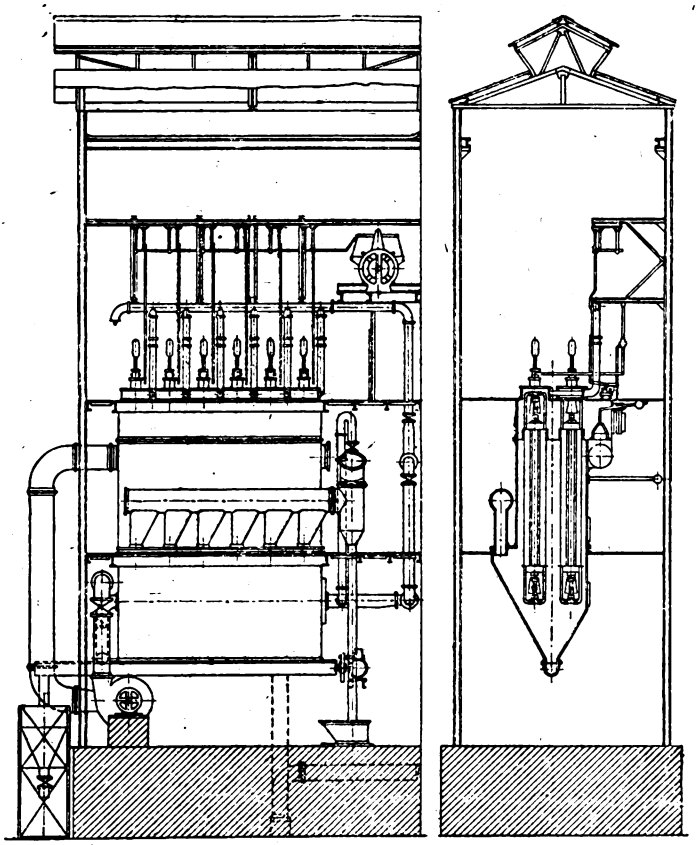


Fig. 6 — Coupe transversale et longitudinale de l'installation de Dilling.

Il est évident qu'on ne redresse pas la totalité de l'onde, mais qu'on prélève sur toutes les ondes une partie qui est fonction de la largeur des 4 pièces de connection réparties autour du disque par rapport au quart de cercle qui correspond à une onde complète.

Digitized by Google

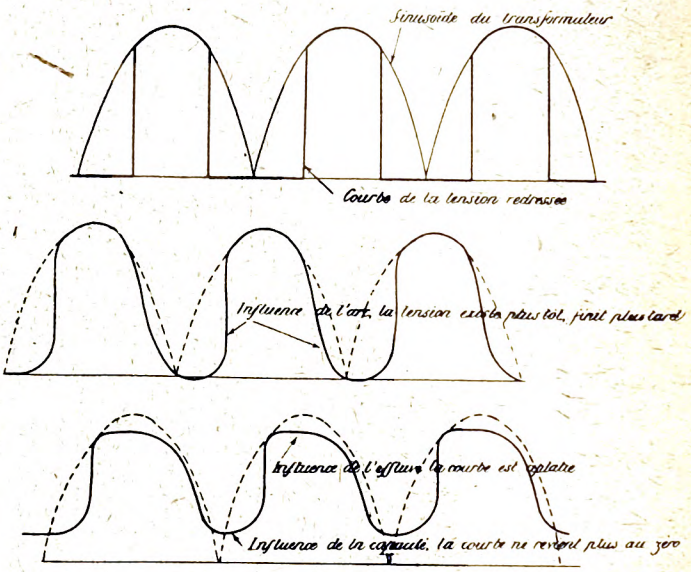


Fig. 7.

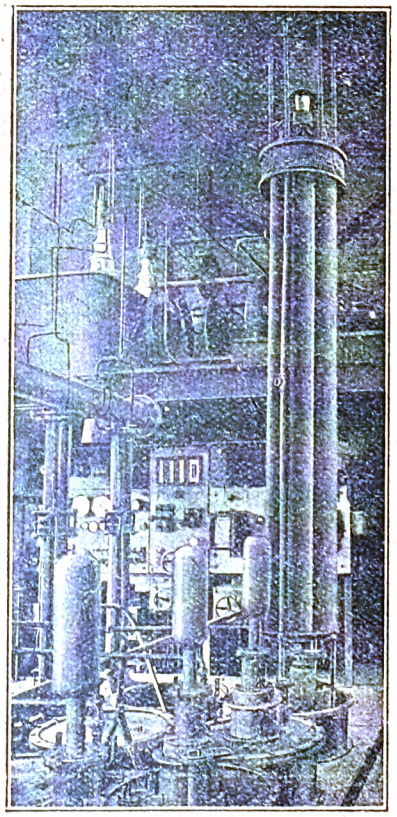


Fig. 8. — Vue intérieure de l'installation de Dilling.

Digitized by Google

La capacité et la selfinductance de l'installation, le jaillissement des étincelles et des arcs arrondissent les angles de la courbe et en modifient la forme théorique.

Enfin, phénomène plus intéressant, la courbe est aplatie à son sommet ;

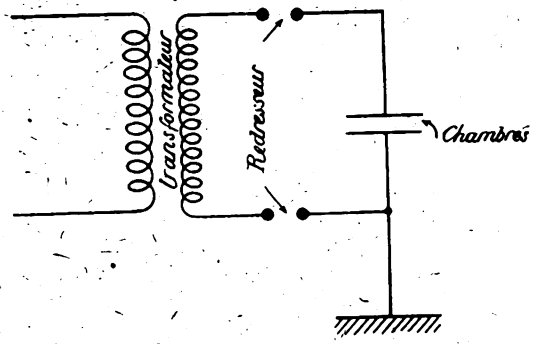


Fig. 9.

la tension aux bornes des chambres d'épuration est très inférieure à la tension aux bornes du secondaire. Le fait est dû à l'effluve. Dès que celle-ci

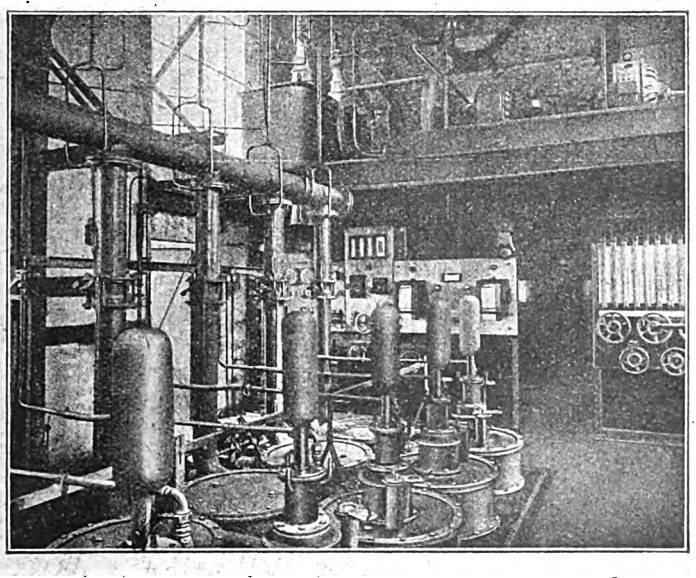


Fig. 10. — Installation de Dilling. Tableau et groupe redresseur.

se produit, si on cherche à élever la tension efficace aux bornes du transformateur, cette tension n'augmente presque pas.

D'après nos essais, la différence entre la tension efficace aux bornes du secondaire et la tension efficace aux bornes des chambres, différence croissante avec le débit, est de l'ordre de 50 pour 100. Il n'y a pas lieu d'attri-

Digitized by Google

buer cette chute de tension aux mauvais fonctionnements des appareils, comme nous l'avions cru d'abord, mais bien à la nature du phénomène d'effluve lui-même.

Enfin, il y a lieu de mentionner ici la création de courants de haute fréquence dont la présence était à prévoir et que nous avons décelés en branchant successivement entre le redresseur fonctionnant à vide et la terre *un ampèremètre électromagnétique* et un *ampèremètre thermique.* Seul l'ampèremètre thermique indiquait le passage d'un courant très notable.

Il y a lieu de remarquer, en effet, que le montage de l'installation réalise le montage adopté jadis pour un poste d'émission à étincelle. Dans quelle mesure les installations de précipitation électrique gênent-elles la réception des postes radiotéléphoniques, cela dépend beaucoup des caractéristiques de l'installation et de la manière dont elle est montée. Il est difficile de le prévoir avant la mise en route d'une installation neuve, mais on parvient à combattre efficacement les effets nuisibles qui pourraient se manifester.

Historique. — L'épuration électrique au point de vue Industriel et Commercial.

L'historique abrégé de la précipitation électrique des poussières dans les gaz paraît débuter, à la fin du siècle dernier, par les recherches de *Lodge et Walker, en Angleterre,* et par celles de *Mœller en Allemagne.*

En Amérique, à la suite d'un nombre croissant de plaintes dirigées contre les Aciéries et autres Usines qui infectaient leurs voisins de leurs fumées et émanations, *Cottrell,* mit à son tour au point un procédé qui, paraît-il, donna satisfaction. Il travailla en liaison avec Mœller à partir de 1907 et monta en Amérique beaucoup d'installations qui le rendirent célèbre. Toutefois, il ne semble pas qu'il ait réussi jusqu'ici ou persévéré dans la voie de l'épuration électrique du gaz de haut-fourneau.

En France, la Société de Purification Industrielle des gaz a construit de nombreuses installations de Précipitation et effectué des essais intéressants pour épurer le gaz de haut-fourneaux.

C'est en 1920 que les Aciéries de DILLING ont entrepris l'étude de la question en liaison avec les Etablissements Zschocke de Kayserslautern. Ces deux Sociétés fondèrent ensemble la Société Elga. Les premiers tâtonnements, basés sur des idées audacieuses et fausses, furent longs et pénibles. Plus d'un million de francs furent dépensés avant d'obtenir aucun résultat. Les premiers essais satisfaisants datent de mars 1924. On atteignit alors le but d'un seul coup, et l'installation prit dans ses grandes lignes sa physionomie actuelle.

Comme c'est le cas de beaucoup de progrès obtenus dans une question mal connue, ce résultat était dû à un heureux concours de circonstances. Mais les essais qui suivirent furent décevants, jusqu'au moment où on

Digitized by Google

réussit à retrouver et à déterminer les conditions à réaliser pour obtenir une marche satisfaisante.

Depuis, l'installation de Dilling, simplifiée et perfectionnée, est restée

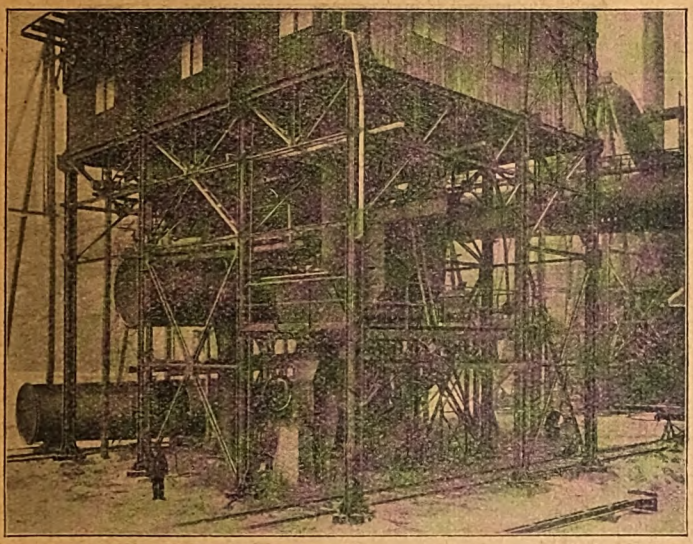


Fig. 11. — Installation de Witkowitz. Partie inférieure (ventilateurs aspirateurs).

en marche constante et l'affaire est entrée dans le domaine de l'usage industriel et de l'exploitation commerciale.

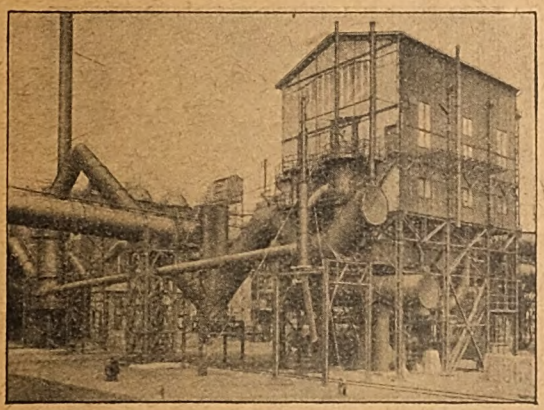


Fig. 12. — Vue extérieure de l'installation de Witkowitz.

Les Aciéries de Dilling, les Etablissements Zschocke et la Société de Purification Industrielle des Gaz (en abrégé Pig) viennent de fonder la Société Pigelga dont le siège est à Paris. Cette Société est destinée à s'occuper des installations d'épuration électrique de gaz de haut-fourneau en France, en Angleterre et dans les pays latins.

Digitized by Google

Enfin, il ne faut pas omettre de dire que la Société Elga, doit compter en Allemagne avec trois concurrents sérieux :

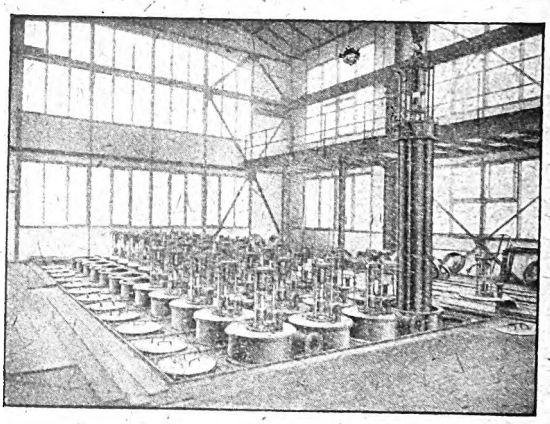


Fig. 13. — Installation de Witkowitz. Vue supérieure des chambres.

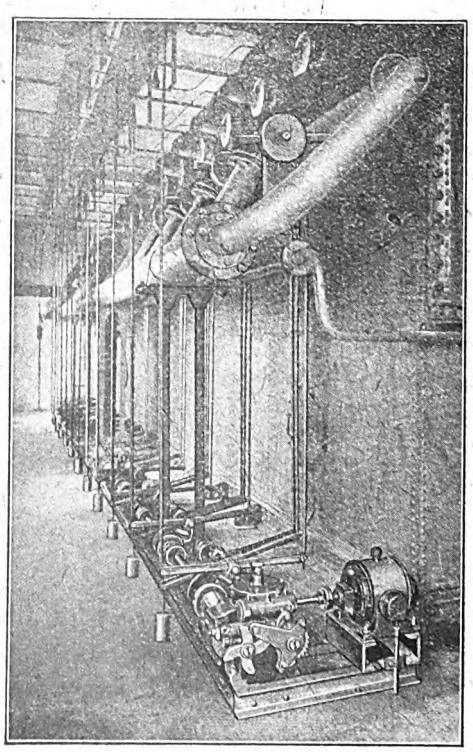


Fig. 14. — Installation de Witkowitz. Commandes automatiques.

Siemons-Schuckert, Oski-Hannover, et une filiale de la Gelsenkirchener Bergwerkn-Aktien-Gasellschaft.

Digitized by Google

Fig. 15. — Installation de Witkowitz. Tableau de commande.

Digitized by Google

Avantages du Procédé d'épuration électrique.

Le procédé électrique réunit comme l'épuration à sacs, tous les avantages des procédés d'épuration à sec.

Le manque d'eau, même en hiver, constitue, pour les métallurgistes, une préoccupation des plus fréquentes. Même quand on a de l'eau il faut la pomper, au prix d'une dépense de force motrice non négligeable.

D'autre part, les eaux boueuses, dans le cas des épurateurs humides, doivent être dirigées vers des bassins de décantation dont l'étendue et l'aménagement constituent une nouvelle source de dépenses et de préoccupations.

Il existe bien des installations (bassins Neustadt), destinées à la séparation des boues et à l'utilisation de l'eau en circuit continu, mais les épurations à sec possèdent l'avantage de supprimer toutes ces installations coûteuses.

La poussière sèche de l'épuration électrique peut être directement chargés sur wagon et facilement évacuée vers le crassier.

Par rapport à l'épuration à sacs, l'épuration électrique comporte les avantages suivants :

a) Simplicité dans l'installation et dans la conduite, la température du gaz n'ayant pas besoin d'être maintenue dans les limites aussi étroites — on sait, en effet, que trop chaud, le gaz brûle les sacs, et que trop froid, il les encrasse.

b) Entretien moindre — dans l'épuration à sacs, les sacs doivent être, paraît-il, renouvelés tous les ans.

c) La dépense en force motrice doit être moindre, puisqu'on n'a pas à vaincre la forte résistance des sacs au passage du gaz.

Par rapport aux épurations humides du genre Theisen, l'avantage de l'épuration électrique est encore plus grand.

Possibilités futures de l'Epuration électrique.

Comparée à l'épuration à sacs (procédé Halberg-Beth) l'épuration électrique devrait la concurrencer victorieusement à prix de revient et à encombrement égal des deux types d'installation, en raison des avantages déjà énumérés.

Mais ce qui fera souvent donner la préférence à l'épuration à sacs, c'est qu'elle fait appel à un phénomène que tout le monde comprend et qui paraît, au premier abord de fonctionnement irréprochable. C'est un peu le cas aussi des épurateurs humides, appelés désintégrateurs, qui sont des appareils simples, robustes et donnant satisfaction. Leur fonctionnement est sûr, leur entretien plutôt faible et la paresse humaine naturelle y

Digitized by Google

trouve de grands avantages. Ce sera pendant longtemps le concurrent le plus sérieux de l'épuration électrique.

Celle-ci, outre sa nouveauté, présente un caractère un peu mystérieux. Elle a contre elle à ses débuts des conditions financières moins favorables qu'avant-guerre.

Toutefois ses avantages ne manquent pas d'apparaître dès maintenant aux techniciens informés et le nombre de projets actuellement à l'étude est d'un bon augure pour le développement ultérieur de ce procédé.

Digitized by Google

NOTE SUR LA DÉTERMINATION D'UNE BASE SCIENTIFIQUE POUR LA FIXATION DES MINIMA D'ÉCLAIREMENT RECOMMANDÉS [1]

par M. LEBLANC.

La Commission Internationale d'Eclairage (C. I. E.) avait décidé à Genève, en 1924, d'adopter internationalement, pour la rédaction des codes d'éclairage des usines, la classification des minima d'éclairement recommandés du rapport présenté par la délégation américaine. A savoir :

c) Lorsqu'un discernement des détails n'est pas nécessaire : 5 Lux;
d) Lorsqu'un grossier discernement des détails est nécessaire : 10 —
e) Lorsqu'un discernement modéré des détails est nécessaire : 20 —
f) Lorsqu'un bon discernement des détails est nécessaire : 30 —
g) Lorsqu'un discernement des petits détails est nécessaire : 50 —

A la réunion de la C. I. E. à Bellagio en 1927, la délégation américaine a insisté sur le fait que l'adoption de ces minima depuis cinq ans aux Etats-Unis, n'avait soulevé aucune réclamation et que la Commission chargée actuellement d'étudier la révision du code d'éclairage américain, n'avait proposé à ces règles que des modifications insignifiantes.

Néanmoins, les délégations étrangères semblent peu disposées à accepter ces valeurs sans discussion.

La délégation française propose :
pour la catégorie *f*) 40 lux au lieu de 30;
pour la catégorie *g*) 60 lux au lieu de 50;
et la création d'une nouvelle catégorie à 80 lux.

Le professeur BORDONI (Italie) dans une lettre ouverte à M. MARKS, écrit :

Dans les publications faites jusqu'ici par le Comité Italien, il est en général recommandé que des figures quelque peu plus élevées que

---

(1) Communication présentée à la Semaine d'Octobre 1927 de la *Société française des Electriciens* (séance de la 2e Section du mardi 25 octobre).

Digitized by Google

celles que vous mentionnez, soient prises comme base dans les calculs d'éclairement, ceci cependant est fait en vue de tenir compte du manque d'uniformité dans l'éclairement réalisé, vieillissement des lampes, etc...

M. GASTER (Angleterre) rend compte que, dans des expériences exécutées dans des ateliers de composition d'imprimerie, il a paru avantageux d'élever l'éclairement jusqu'à 200 lux, valeur éloignée du minimum recommandé.

Les délégations suisses et russes proposent des modes de classification très différents du mode américain.

M. CARUCI qui représentait le Bureau du Travail de Genève, déclare que celui-ci accorde à l'éclairage une importance aussi grande qu'au chauffage et à la ventilation et qu'il serait tout disposé à introduire dans un code international d'hygiène, actuellement en préparation, des règles relatives à l'éclairage, si tous les pays se mettaient d'accord auparavant sur les valeurs à adopter, mais qu'il semble malheureusement très loin encore d'y être parvenus.

M. Maurice LEBLANC a alors apporté la proposition suivante :

Le fait que les chiffres que l'on peut déduire de l'expérience moyenne des éclairagistes diffèrent d'un pays à l'autre, est une sérieuse cause de difficulté pour arriver par cette voie à une réglementation universellement acceptée.

On peut certes toujours, en faisant preuve de suffisamment de tolérance, réussir à fixer des chiffres moyens qui soient acceptés par tous sans trop de difficultés, mais il est bien évident que chacun aura tendance ensuite à les modifier pour les rapprocher de son expérience personnelle et qu'il serait certainement préférable qu'ils aient une base scientifique indiscutable.

La classification américaine est basée sur l'acuité visuelle. Quoique cette méthode ne tienne pas compte de l'effet total utile de l'éclairage, elle est cependant la plus simple et on peut sans doute l'adopter sans inconvénient, sauf peut-être pour quelques professions spéciales pour lesquelles c'est une autre qualité de l'œil qui joue le rôle fondamental.

On pourrait alors classer les éclairements minima recommandés de la manière suivante :

5 Lux quand une acuité visuelle *a* est nécessaire.

10 Lux quand une acuité visuelle *b* est nécessaire, etc...

On pourrait établir cette liste sans ambiguïté pour « l'œil moyen ». Il resterait ensuite à déterminer quelle est, pour l'exercice de chaque

Digitized by Google

profession, l'acuité visuelle minimum nécessaire et il semble aussi que cette détermination pourrait être faite avec une précision suffisante.

Par exemple, pour un ajusteur, on pourrait choisir comme caractérisant l'acuité maximum nécessaire, la lecture d'un vernier millimétrique au minimum de distance d'accommodation sans fatigue, pour le compositeur d'imprimerie, la distinction des plus petits caractères d'imprimerie à la distance où sa main doit aller les cueillir, etc...

Digitized by Google

NOTE A PROPOS DE LA MESURE PRATIQUE DE LA VALEUR D'ÉBLOUISSEMENT D'UNE SOURCE LUMINEUSE [1]

par M. M. LEBLANC.

Le phénomène d'éblouissement qui constitue la question la plus importante, mais aussi la plus difficile, de la science de l'éclairage, a été l'objet des préoccupations de la Commission Internationale d'Eclairage, qui s'est réunie à Bellagio en septembre 1927.

La délégation américaine, après avoir fait remarquer que le nombre des causes qui interviennent dans le phénomène d'éblouissement ne laissait pas espérer la réalisation prochaine d'un appareil permettant de mesurer la valeur d'éblouissement d'une source donnée dans les conditions données, a proposé aux critiques des autres délégations une règle permettant aux installateurs de savoir si, dans des circonstances données, une source lumineuse devait être ou non prohibée comme donnant lieu à un éblouissement trop intense.

Il est nécessaire, en premier lieu, de créer une échelle de valeurs d'éblouissement à l'aide de laquelle on pourra caractériser celle d'une source quelconque.

Pour cela, on place dans un globe dépoli de 40 cm. de diamètre, des lampes à incandescence de puissance croissante (10, 15, 25, 40, 60, 75, 100 watts, la série est complétée par des lampes dépolies de 300, 500, 1 000 watts. On crée ainsi une série de sources de plus en plus éblouissantes dont les valeurs sont étiquetées A, B, C.....K. *A*, correspond à une source qui n'est pas du tout éblouissante et *K*, à une source qui est très éblouissante, on peut considérer que toute source pratiquement utilisable dans l'éclairage industriel pourra se placer entre A et K.

Toutes ces sources étant rangées les unes à côté des autres dans l'ordre croissant, des expériences faites sur des centaines d'observateurs ont

---

(1) Communication présentée à la Semaine d'Octobre 1927 de la *Société française des Electriciens* (séance de la 2e Section du mardi 25 octobre).

Digitized by Google

montré que, si on prenait une source quelconque, tous les observateurs la plaçaient au même degré de l'échelle.

La délégation américaine voit dans ceci la preuve que l'œil humain est capable d'une sensation d'éblouissement bien déterminée, qui est une synthèse des effets dus à l'éclat, au flux total de la source, etc.

En second lieu, on détermine pour un grand nombre de cas particuliers de la pratique, le maximum d'éblouissement, exprimé en degrés de l'échelle définie ci-dessus, qui peut être toléré en tenant compte de la hauteur des sources lumineuses au-dessus du sol, de la forme des pièces (pièces longues dont la dimension principale dépasse trois fois la hauteur de la lampe au-dessus du sol et pièces courtes), de l'usage du local, etc. Cette détermination est basée uniquement sur l'expérience pratique des ingénieurs qui l'établissent.

La proposition américaine est la première faite d'une mesure du phénomène d'éblouissement susceptible d'être appliquée à des fins pratiques. Elle mérite donc d'être envisagée avec beaucoup d'attention, bien qu'elle donne prise à des critiques très sérieuses.

1° Sur son principe même. On peut se demander si l'on peut, à un phénomène subjectif comme l'éblouissement, trouver une correspondance objective : si deux sources différentes de forme qui se seront, au Laboratoire, classées au même degré de l'échelle, donneront lieu à des phénomènes d'éblouissement de même intensité, quand elles seront ensuite transportées en un même point d'un atelier. En précisant davantage encore, si deux sources, l'une de plus grand éclat, l'autre produisant un plus grand flux lumineux, qui se seront classées au même degré de l'échelle quand elles auront été comparées au Laboratoire sur un fond blanc, seront encore égales sur un fond noir; l'influence du plus grand éclat ne deviendra-t-elle pas alors prépondérante ?

Des sources de même valeur d'éblouissement quand elles sont examinées à la hauteur de l'œil, demeurent-elles égales quand elles sont élevées à une certaine hauteur, si l'une d'entre elles, par exemple, est un réflecteur insuffisamment profond. Ne devra-t-on pas alors préciser à quelle hauteur la mesure de la valeur d'éblouissement a été faite ?

2° Cette méthode ne permet pas de tenir compte de l'éblouissement par réflexion, dont l'influence est prépondérante dans certains cas.

3° Cette méthode exige un matériel considérable et encombrant.

Il paraîtrait plus simple d'utiliser, comme étalon d'éblouissement,

Digitized by Google

une seule lampe dont on ferait varier la tension d'alimentation avec un rhéostat. On caractériserait la valeur d'éblouissement par celle de cette tension. Si, pour juger la valeur d'éblouissement d'une source, l'expérience montre qu'il faut pouvoir l'intercaler entre deux sources, l'une moins et l'autre plus éblouissante, on pourrait disposer deux sources identiques branchées sur le même rhéostat, mais dont l'une aurait, également en série avec elle, une petite résistance fixe ou variant suivant une certaine loi quand on agit sur le rhéostat, de manière qu'elle soit toujours un peu moins éblouissante que la seconde.

4° En fixant les chiffres fondamentaux d'un règlement concernant l'éblouissement seulement d'après l'expérience de certaines personnes, on retrouvera la difficulté déjà rencontrée à propos de la détermination des minima d'éclairement recommandés. On ouvre ainsi des discussions sans issue, car l'expérience d'hommes, qui ne peuvent faire complètement abstraction des habitudes locales, diffère d'un pays à l'autre et l'établissement d'un règlement internationalement accepté est par suite très difficile.

Il serait donc nécessaire de trouver un critérium permettant de déterminer sans ambiguïté quelle est, dans chaque cas particulier, la valeur d'éblouissement tolérable.

On pourrait choisir, comme critérium, la diminution d'acuité visuelle à éclairement constant. Les expériences du Professeur Bordoni sur la variation du coefficient de perceptibilité avec l'éblouissement montrent qu'on peut obtenir quelque résultat dans cette voie. Mais la question est très compliquée, parce que ce facteur de diminution est probablement fonction de l'éclairement et de la hauteur de la source.

Néanmoins, si on arrivait à établir des tables donnant l'acuité visuelle en fonction de la valeur d'éblouissement définie comme il a été proposé plus haut, de l'éclairement et de la hauteur de la source, on pourrait, si on s'en rapporte à ce que nous avons dit dans la « *note à propos de la détermination des éclairements recommandés* », estimer que la détermination de l'éclairement d'un atelier pourrait être faite d'une manière scientifique.

Digitized by Google

APPAREILS RÉALISÉS PAR LES ÉTABLISSEMENTS L. HATOT POUR LA REMISE A L'HEURE AUTOMATIQUE DES PENDULES PAR T. S. F. (1)

par M. Marius LAVET.

Administrateur de la Société Anonyme des Etablissements Léon Hatot.

La remise à l'heure automatique des pendules par T.S.F. constitue un problème très simple de télémécanique qui peut être résolu par les appareils couramment utilisés pour les commandes à distance par fil et sans fil.

En particulier, on peut faire usage de sélecteurs d'appel qui permettent de fermer un circuit électrique sous l'influence d'un signal de télégraphie déterminé, composé de points et de traits. On peut donc régler ces appareils pour les faire fonctionner sous l'influence d'un quelconque des signaux internationaux émis à heure fixe par la Tour Eiffel et diverses autres stations. Il est facile, dans ces conditions, de ramener à la bonne position les aiguilles de la pendule à régler, par exemple, au moyen d'un électro et de cames solidaires des aiguilles.

Pour cette application spéciale, toutefois, les sélecteurs d'appel seraient inutilement compliqués et l'on a cherché à simplifier le problème en choisissant un signal spécial susceptible d'être reçu par un dispositif relativement simple et robuste.

C'est ainsi que, dans les systèmes de remise à l'heure par T.S.F. actuellement en usage, on utilise généralement comme signal de remise à l'heure, un trait continu, prolongé pendant une durée supérieure à celle des autres traits que comportent les signaux envoyés par le poste émetteur. La sélection des signaux reçus peut alors être obtenue par un simple relais à action retardée, construit de telle sorte qu'il n'est sensible qu'à l'action d'un courant dont la durée est égale à celle du signal de remise à l'heure et non à une émission plus brève. Ce relais permet donc d'établir un contact électrique lors de l'émission du signal de remise à l'heure.

(1) Communication faite à la semaine d'octobre 1927 de la Société Française des Electriciens (séance de la 5e section du 28 octobre).

Digitized by Google

La remise à l'heure des aiguilles peut alors s'effectuer facilement par l'un des nombreux dispositifs anciennement proposés pour la remise à l'heure au moyen d'un courant électrique envoyé dans une canalisation spéciale.

On a proposé de nombreux systèmes de relais à retard reposant sur les mêmes principes que les relais différés de l'industrie électrique. Tous ces systèmes comportent une pièce de commande qui se déplace à partir d'une certaine position à une vitesse lente et uniforme lorsque passe le courant reçu par le poste de T.S.F. Cette pièce revient brusquement en arrière lorsque le courant est interrompu. Le réglage est fait de manière que le circuit de la remise à l'heure ne se ferme que si le déplacement de la pièce de commande correspond à la durée du long signal de remise à l'heure.

Quel que soit le mode de réalisation de ce principe, il est nécessaire, pour obtenir un fonctionnement correct, que le poste récepteur de T.S.F. soit d'un fonctionnement absolument parfait. En effet, une petite interruption dans la réception du signal continu de remise à l'heure, provoque un « raté » dû au retour en arrière de la pièce de commande. D'autre part, la mise à l'heure peut se faire intempestivement à une heure non désirée, si, par suite de la réception de forts parasites, ou par suite d'un mauvais réglage du poste récepteur de T.S.F., ce dernier envoie un courant suffisamment prolongé pour actionner le relais à action retardée.

On peut, il est vrai, réduire les risques de cette mauvaise réception, en munissant la pendule d'un interrupteur horaire ne mettant en service le relais qu'au voisinage de l'heure d'émission du signal de remise à l'heure. On peut aussi établir le relais pour qu'il ne ferme pas le circuit de remise à l'heure, dans le cas où le courant envoyé par poste de T.S.F. se prolongerait pendant un temps dépassant la durée normale du signal horaire. Il faut reconnaître que toutes ces fonctions, pour être bien remplies, nécessitent des mécanismes assez compliqués et délicats. Il est à noter également que le fonctionnement du relais électrique employé exige un courant relativement élevé, car il faut vaincre brusquement l'inertie de l'armature et produire une force importante. On doit par suite recourir à un poste de T.S.F. très sélectif comportant une très forte amplification des signaux reçus.

Si l'on veut réaliser la remise à l'heure entièrement automatique de la pendule, il faut que le poste récepteur soit réglé d'avance sur la longueur d'onde du signal horaire, ce poste servant exclusivement à la remise à l'heure. La pendule doit aussi déclancher des contacts

Digitized by Google

horaires assurant la mise en fonction en temps utile de ce poste, ainsi que la recharge des accumulateurs.

Ces organes supplémentaires présentent l'inconvénient d'être de beaucoup plus coûteux que le mécanisme horaire proprement dit et d'être très encombrants, aussi les appareils établis dans ces conditions offrent des possibilités d'utilisation très limitées et l'on peut dire qu'ils ne présentent pas toutes les qualités de simplicité désirables pour entrer dans la pratique courante.

Ayant surtout en vue l'application de la téléphonie sans fil à la remise à l'heure automatique des pendules électriques destinées à l'usage domestique, nous avons étudié et mis au point un autre système qui nous paraît plus avantageux que celui que nous venons de décrire.

Ce système repose sur le principe de la commande par résonance électrique et mécanique avec superposition de plusieurs accords, principe déjà utilisé dans la télégraphie harmonique et dans certains appareils de télémécanique.

Comme signal horaire, nous utilisons un signal rythmé d'une période bien déterminée, de façon à pouvoir obtenir la réception et la détection du signal par un organe oscillant présentant la même période propre que le signal. Cet organe oscillant, ou relais pendulaire, est réalisé comme un balancier de pendule à entretien électro-magnétique. Il se met en marche progressivement sous la seule influence du signal horaire rythmé et le contact de remise à l'heure n'est établi qu'au bout d'un certain temps, lorsque l'amplitude des oscillations dépasse une valeur fixée par construction.

Grâce à ce procédé, la sélection des signaux est due à la fois à la cadence choisie pour le signal horaire et au temps nécessaire pour mettre en marche le relais pendulaire. On conçoit que, grâce à ce procédé, on puisse rendre le relais pendulaire *absolument insensible à tout autre signal que le signal horaire*.

Le passage d'un courant anormal provenant de forts parasites ou d'un déréglage du poste récepteur ne peuvent en aucune façon faire fonctionner intempestivement la remise à l'heure. En revanche, la mise en marche du relais pendulaire à l'aide du signal horaire, s'obtient facilement, même s'il se produit plusieurs ratés dans la réception.

Dans la réalisation pratique de ce système, nous avons cherché à éviter la nécessité de munir la pendule à régler d'un poste de réception de T. S. F. ne pouvant servir qu'à cet usage. Nous estimons que la surveillance et l'entretien de ce poste seraient beaucoup plus gênants

Digitized by Google

que la remise à l'heure à la main d'une pendule électrique de bonne qualité.

Il est à remarquer, en effet, que pour un prix de revient relativement faible (de l'ordre d'une centaine de francs), on construit actuellement des mécanismes horaires électriques présentant l'avantage de fonctionner sans remontage avec une extraordinaire précision.

Cette pendule électrique ATO, par exemple, munie d'un balancier compensé aux températures, battant la 1/2 seconde, fonctionne avec des écarts de marche inférieurs à 10 secondes par mois. (Au cours d'essais effectués à l'Observatoire National de Besançon et au Physikalisches Institut de Bonn, on a seulement constaté des écarts de l'ordre de 1/10 à 2/10 de seconde par jour). Pour avoir l'heure exacte à 1 minute près, il suffit donc de toucher aux aiguilles tous les 6 mois ! Avec un tel appareil, on estimera certainement que la remise à l'heure à la main des aiguilles, causera beaucoup moins d'ennuis que l'adjonction d'un poste de T. S. F. spécial à 4 lampes, avec batteries d'accumulateurs et piles !

On serait même tenté de conclure que le problème de la remise à l'heure automatique des pendules, n'offre plus beaucoup d'intérêt pratique maintenant, en raison de la haute précision atteinte par les pendules électriques.

Remarquons cependant que, dans la pratique courante, la haute précision dont nous venons de parler n'est atteinte que rarement. Pour répondre au goût du public, les constructeurs ont en effet été conduits à réaliser de petits mécanismes munis de balanciers légers et courts, moins précis que celui dont nous venons de parler, mais qui sont plus élégants et d'une pose plus facile. Bien peu de personnes d'ailleurs se donnent la peine de régler exactement leurs pendules et celles-ci sont souvent installées avec un aplomb défectueux sur des meubles plus stables.

Dans ces conditions, les écarts de marche peuvent atteindre plusieurs minutes par mois et il est, malgré tout, intéressant de chercher à s'éviter la peine de remettre à l'heure les aiguilles. Mais, nous le répétons, on ne peut raisonnablement songer à ce réglage automatique, que s'il peut se faire sans immobiliser un poste de T. S. F. pour cette seule application, et si les organes à ajouter à la pendule sont simples et peu coûteux.

Comme beaucoup de personnes possèdent actuellement des postes de T. S. F. pour écouter les émissions radiophoniques et que, d'ailleurs ces appareils sont appelés à se répandre de plus en plus, il vient à

Digitized by Google

l'idée de chercher à utiliser aussi ces appareils pour le réglage automatique des pendules, au moyen d'un signal reçu au cours d'une émission écoutée habituellement, et cela, sans qu'il soit nécessaire d'interrompre l'audition.

Il est important de remarquer que ces conditions spéciales d'utilisation ne permettraient pas d'obtenir facilement la sélection des signaux au moyen d'un signal long et d'un relais à action retardée, car dans les concerts de radiophonie, les sons émis sont d'une durée irrégulière et presque toujours beaucoup plus longue que les signaux courants de télégraphie. On ne peut, non plus, songer à utiliser un signal bref précédé d'un long silence et à opérer la sélection par un conjoncteur et un disjoncteur horaire ; on pourrait craindre, en effet le fonctionnement intempestif de la remise à l'heure si, par suite d'un oubli de l'usager, le poste de T. S. F. n'était pas très exactement réglé sur la longueur d'onde du signal horaire.

L'annonce de l'heure exacte étant déjà faite couramment par des postes d'émissions de concerts radiophoniques, on peut, sans plus de complication, envoyer au cours des auditions un signal rythmé de quelques secondes, composé par une série de points musicaux, destiné à assurer, dans les conditions que nous avons exposées, la remise à l'heure facile et sûre des pendules.

Avant de décrire en détail le système que nous proposons pour cet usage, nous dirons quelques mots des principaux moyens dont on dispose pour maintenir avec une approximation donnée, la concordance entre les aiguilles de la pendule à régler et celles de la pendule directrice très exacte du poste d'émission, envoyant à des instants précis le signal horaire.

1° On peut profiter du signal pour ramener brusquement les aiguilles de la pendule à régler à la bonne position, celles-ci continuant ensuite leur course librement sous la seule influence du mécanisme horaire. On peut notamment obtenir ce résultat, au moyen du mécanisme utilisé dans les montres chronographes connues de tous. Le fonctionnement peut, bien entendu, être commandé par un électro-aimant ou par un moteur électrique.

2° On peut agir sur un organe de réglage augmentant ou réduisant légèrement la période propre d'oscillation du balancier de la pendule à régler, suivant que celle-ci avance ou retarde lors de l'émission du signal horaire. On limite ainsi la valeur du décalage possible entre les aiguilles de la pendule à régler et celles de la pendule directrice.

Digitized by Google

Dans ce cas, la modification de marche s'opère progressivement dans l'intervalle des signaux horaires.

3° On peut enfin synchroniser le balancier de la pendule à régler avec celui de la pendule directrice, de façon qu'il ne puisse se déphaser de plus de 1/4 de période.

Une telle synchronisation peut être obtenue par un signal périodique envoyé en permanence par la pendule directrice, la période de ce signal pouvant d'ailleurs être un multiple de celle du balancier à régler.

Si la marche indépendante de la pendule est très voisine de la marche idéale, les impulsions synchronisantes peuvent être établies à longs intervalles de temps. Mais il faut évidemment que, pendant les interruptions de l'action synchronisante, le balancier n'ait pas le temps de se déphaser de plus de 1/4 de période.

La correction de déphasage peut être obtenue par des impulsions s'exerçant sur le balancier avant ou après son passage par la position d'équilibre, ou par la modification de tout autre des facteurs influant sur la période d'oscillation. Dans tous les cas, il faut interrompre la correction dès que l'on a obtenu le synchronisme entre le mouvement du balancier et le signal horaire.

L'utilisation du signal rythmé que nous préconisons est applicable à tous ces modes de réglage. Nous décrirons d'abord un système de remise à l'heure brusque des aiguilles convenant spécialement aux pendules électriques d'appartement ATO (construites par la Société anonyme des Établissements Léon Hatot).

Ce système a été étudié pour fonctionner dans les conditions exposées plus haut, soit au moyen d'un signal spécial de téléphonie sans fil, soit au moyen des signaux rythmés internationaux émis par le Bureau international de l'heure, pour la transmission de l'heure à 1/100 de seconde près.

On sait que ces derniers signaux comprennent un ensemble de 306 battements pendulaires répartis en 5 séries de 60 secondes Ces signaux sont émis de 22 h 31 à 22 h 36 et de 9 h 31 à 9 h 36, à l'aide d'un pendule synchronisé avant l'émission et ils se composent de « tops » très brefs se succédant à la cadence de 61 en 60 secondes de temps moyen.

Comme relais pendulaire, nous utilisons un petit pendule qui, lorsqu'il oscille librement, fait 122 oscillations par minute. Ce pendule est muni d'organes moteurs lui donnant une impulsion motrice lors de chaque émission. On voit que ce pendule est susceptible d'être mis en marche par les impulsions correspondant aux « tops » du signal rythmé

Digitized by Google

international, car il reçoit alors une impulsion toutes les 2 oscillations. Nous aurions pu employer un pendule 4 fois plus long, faisant 61 oscillations par minute, mais nous avons préféré réduire le plus possible les dimensions d'encombrement du relais.

Dans le cas où ce petit pendule peut être actionné par un signal horaire choisi librement, il est préférable d'adopter le signal correspon-

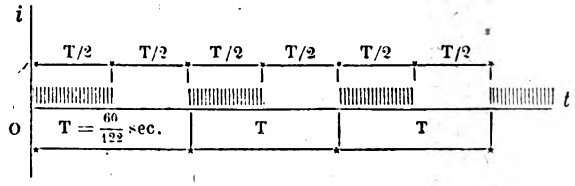


Fig. 1.

dant au diagramme (fig. 1), de façon que le pendule reçoive une force périodique intermittente se produisant pendant toute la durée des oscillations dans un sens déterminé.

C'est en adoptant ces valeurs que le balancier atteint une amplitude donnée dans un temps donné avec une force périodique d'intensité minimum ce qui est très intéressant, car cela permet de réduire l'intensité de la réception. De plus, la sélection est meilleure que si les impulsions sont plus brèves. En effet, dans ce dernier cas, un signal quelconque d'une durée voisine de 1/2 période, fournit autant d'énergie au pendule que plusieurs impulsions brèves du signal rythmé. Par exemple, si chaque émission du signal dure seulement 1/100 de seconde, on peut craindre que le pendule ne soit actionné par quelques impulsions de même intensité, durant chacune 1/4 de seconde, dans le cas où celles-ci concorderaient par hasard avec le mouvement. En effet, chaque impulsion de 1/4 de seconde, produit presque le même effet que 25 impulsions successives du signal rythmé. On voit donc qu'on est placé à tous les points de vue dans les meilleures conditions avec un signal horaire formé de traits et de silences de durées à peu près égales.

Pour cette même raison, on rencontre des difficultés spéciales pour utiliser le signal rythmé international, composé de « tops » très brefs. Nous verrons plus loin comment on est parvenu à surmonter cette difficulté.

Pour fournir les impulsions au pendule sélecteur en partant du courant intermittent de fréquence musicale, fourni par le poste récepteur de téléphonie sans fil, on a le choix entre plusieurs dispositifs.

Digitized by Google

On peut munir le balancier d'une armature de fer doux (de préférence feuilletée et constituée par un métal très perméable présentant une hystérésis très faible), pénétrant à l'intérieur d'une bobine creuse parcourue par le courant téléphonique. Dans ce cas chaque émission du son, correspond à une attraction magnétique, mettant en marche le relais pendulaire.

On peut aussi munir le pendule d'un aimant permanent, pénétrant également dans une bobine creuse sans fer disposée pour exercer une force électromagnétique dans la direction du mouvement. Un tel système est analogue à celui qu'on emploie couramment pour l'entretien des pendules électriques à balancier moteur. On ne peut dans ce cas utiliser directement le courant émis par le poste, car il est alternatif. Il faut au préalable le redresser. Le pendule se met en marche soit sous l'influence de ce courant ondulé intermittent, soit même sous l'influence d'un courant ondulé circulant constamment, mais dont l'intensité moyenne est affaiblie périodiquement suivant la cadence du signal horaire.

Ce dernier mode d'entretien est avantageux. L'expérience montre en effet, que le balancier peut être mis en marche au moyen d'un courant extrêmement faible (de l'ordre du milliampère). Le rendement électrique est meilleur que lorsqu'on utilise les phénomènes d'aimantation du fer doux, surtout lorsqu'il s'agit de produire de très faibles forces.

Pour obtenir le redressement du courant téléphonique, on peut utiliser une lampe à 3 électrodes qui détecte et amplifie le courant téléphonique produit par le poste. La Société Française Radioélectrique a construit un relais qui résout ce problème d'une façon entièrement satisfaisante. Ce relais convient spécialement aux grandes installations et à celles qui doivent fonctionner malgré le déplacement et les trépidations du support de l'appareil.

Nous avons aussi établi un relais microphonique spécial analogue aux dispositifs anciennement proposés pour la réception des signaux dans la télégraphie harmonique, système Mercadier-Magunna.

Ce relais, en raison de sa simplicité, convient spécialement aux installations domestiques. Il est représenté sur la fig. 2. Il est constitué par par un récepteur téléphonique ordinaire 1 dont la plaque vibrante est munie en son centre d'une pièce de contact 2. Sur ce contact, appuie une pointe conductrice 3 fixée à l'extrémité d'un fléau 4 pivotant en 5 et lesté à ses extrémités de deux poids 6 et 7. La position du poids 7 est réglable et l'on peut faire en sorte que les deux poids se fassent

Digitized by Google

presque équilibre, la pression de la pointe 3 sur le contact 2 étant très faible.

Le récepteur téléphonique est branché sur le poste récepteur de T. S. F. comme un écouteur ordinaire et il ne trouble en rien la réception au moyen d'autres téléphones ou d'un haut-parleur. La plaque téléphonique et le fléau 4 sont intercalés dans un circuit électrique comprenant une pile 8 et la bobine 9 du relais pendulaire.

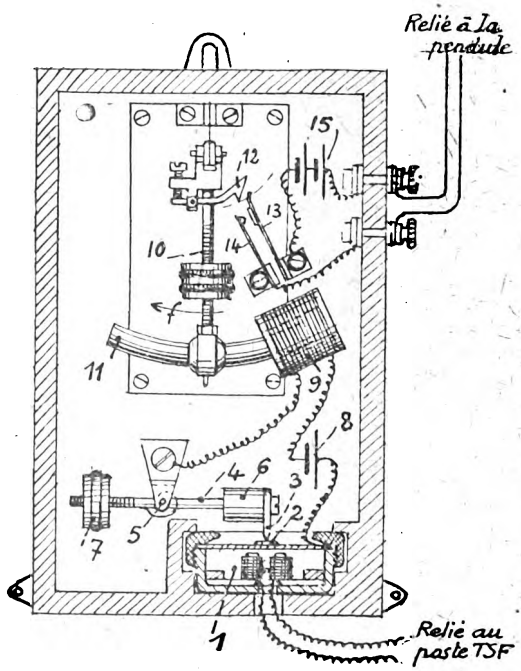


Fig. 2.

Le balancier de ce relais est représenté en 10 et l'aimant dont il est muni en 11.

Lorsque la plaque téléphonique ne vibre pas, le contact électrique de la pointe 3 et de la pièce 2 est fermé en permanence et le courant de la pile 8 traverse la bobine 9 qui attire avec une force constante l'aimant 11 du relais pendulaire. Cette attraction constante provoque seulement un petit déplacement de la position d'équilibre du pendule.

Lorsque le téléphone vibre, le fléau 4 en raison de son inertie tend à rester immobile, la pointe 3 effleurant le contact 2 solidaire de la plaque téléphonique vibrante. Le contact électrique 2-3 est alors presque complètement interrompu et l'intensité moyenne du courant passant dans la bobine 9 est réduite à une valeur pratiquement nulle.

Digitized by Google

Quand le poste de T.S.F. reçoit le signal horaire rythmé, la plaque téléphonique se met à vibrer pendant chaque émission et revient au repos lors des silences ; par suite, la bobine 9 est parcourue par un courant périodique intermittent de période égale à la période propre du pendule 10. Ce dernier se met en marche progressivement comme cela a lieu dans les distributions de l'heure par le procédé de synchronisation. Lorsque l'amplitude atteint une valeur donnée, le pendule peut provoquer la fermeture d'un interrupteur intercalé dans le circuit de commande du dispositif de remise à l'heure.

Le relais microphonique que nous venons de décrire, présente l'avantage d'être peu encombrant et d'un faible prix de revient. On peut en constater le bon fonctionnement en approchant l'oreille du récepteur, ce qui permet d'entendre le signal horaire ainsi que les chocs de la pointe 3 sur le contact 2. Le réglage peut, par suite, être effectué très facilement sans le secours d'instruments de mesure et ne nécessite aucune connaissance spéciale. Ce relais présente de plus, l'avantage de fonctionner dans de meilleures conditions qu'un redresseur à lampe détectrice, lorsque l'on se propose de recevoir un signal composé de « tops » très brefs, comme c'est le cas pour les signaux scientifiques internationaux.

En effet, sous l'influence d'un « top » bref, la plaque téléphonique se déplace et soulève la pointe 2. Lorsque la plaque revient au repos, le fléau en raison de son inertie, ne retombe pas instantanément, et quelques vibrations s'amorcent qui prolongent la durée d'interruption du courant provoquée par le « top ». Par suite, tout se passe comme si l'on avait des traits prolongés, au lieu de points très brefs. Comme on l'a expliqué plus haut, ce mode de fonctionnement permet d'obtenir une meilleure sélection des signaux reçus. Ce résultat ne serait pas atteint avec un montage à lampes qui se comporte comme un relais sans inertie.

Il est à remarquer que, dans le système que nous venons de décrire, le balancier sélecteur se met en marche avec une vitesse variable, suivant que la réception téléphonique est plus ou moins bonne. De plus, après l'interruption du signal horaire, il continue à osciller par inertie, et cela pendant un temps qui dépend de l'amplitude des oscillations qu'il avait lors de l'interruption du signal horaire. Ces particularités de fonctionnement font naître des difficultés lorsqu'on se propose d'opérer la remise à l'heure à un instant très précis.

Voici comment nous avons tourné la difficulté :

L'interrupteur de commande de la remise à l'heure, est réalisé comme

Digitized by Google

le montre la fig. 2. Sur la tige du pendule 10 est articulé un cliquet 12 dont l'extrémité forme une dent. Le contact électrique de remise à l'heure se produit entre les ressorts 13 et 14 normalement écartés. Le ressort 13 est très souple et son extrémité se trouve disposée de telle sorte qu'il est accroché par la dent du cliquet, lorsque le pendule atteint l'amplitude qui doit déterminer la fermeture du contact de remise à l'heure. Lorsque le ressort 13 est accroché, le cliquet au retour du pendule le fait fléchir vers la gauche en l'amenant en contact avec le ressort 14. En fin de course le ressort 13 en fléchissant se dégage du cliquet.

On remarquera que l'énergie potentielle emmagasinée lentement grâce à la série de faibles impulsions qui ont mis en marche progressivement le pendule, est utilisée brusquement pour produire la fermeture très franche de l'interrupteur 13-14. Ce dernier est rendu ainsi très robuste et d'un fonctionnement très sûr.

Pour obtenir que la remise à l'heure se produise à un instant très précis, on réalise les conditions suivantes :

1° On utilise un signal horaire suffisamment prolongé pour que le balancier manœuvre l'interrupteur un peu avant la fin du signal, et cela même si la réception est faible.

2° On utilise un signal horaire se terminant à une heure constante.

3° On règle à la construction l'interrupteur 13-14, de façon que l'amortissement des oscillations causé par son fonctionnement soit légèrement supérieur à l'énergie fournie au pendule à chacune de ses oscillations par le relais microphonique, lors de la réception du signal rythmé.

Ces conditions étant réalisées, le fonctionnement a lieu de la façon suivante :

Le balancier atteint l'amplitude qui détermine le fonctionnement de l'interrupteur 13-14 avant la fin du signal horaire ; l'interrupteur est par suite manœuvré plusieurs fois de suite, grâce aux impulsions motrices qui tendent à accroître l'amplitude. Toutefois, en raison de l'amortissement causé par le fonctionnement de l'interrupteur, cette amplitude reste très voisine de la valeur minimum suffisante pour ce fonctionnement, et, dès que le signal est interrompu, l'amplitude se met à décroître et, à cet instant précis, l'interrupteur cesse d'être manœuvré.

Il suffit de caler les cames de remise à l'heure pour qu'à cet instant les aiguilles de la pendule à régler marquent l'heure exacte. On peut de la sorte opérer très facilement la remise à l'heure à 1 ou 2 secondes

Digitized by Google

près, ce qui est suffisant pour les besoins de la pratique courante.

Sur les figures 3 et 4 est représentée une forme de réalisation avantageuse d'un rouage de pendule électrique à balancier moteur, muni des organes utiles pour la remise à l'heure des aiguilles des secondes et des minutes, grâce à un courant électrique envoyé par l'interrupteur 13-14 de la fig. 2.

Le rouage en question est constitué par un train d'engrenages comprenant la roue à rochet 1 actionnée par le balancier, l'axe de l'aiguille des secondes 2 et l'axe de l'aiguille des minutes 3. Les aiguilles,

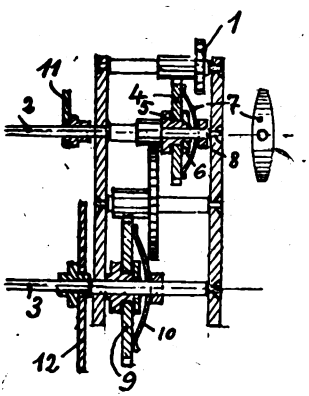


Fig. 3.

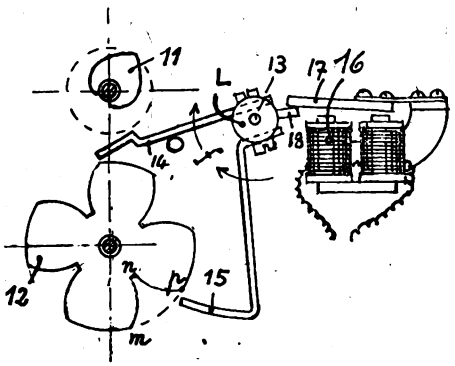


Fig. 4.

non représentées sur la figure, sont calées sur ces axes. La roue 4 peut tourner par rapport à l'axe 2. A cet effet, elle est montée avec un léger jeu entre les pièces 5 et 6 solidaires de l'axe 2. Un petit ressort à lame très souple 7 (visible de face sur la partie droite de la figure 2), appuie sur le pourtour de la roue 4 et sur la bague 8 solidaire de l'axe. Lorsque le rochet 1 tourne, l'axe 2 est entraîné, grâce à l'adhérence produite par le ressort 7, comme si la roue 4 était calée sur l'axe 2. On peut cependant faire tourner l'axe 2 par rapport à la roue 4 au moyen d'un faible couple.

La roue 9 est montée de la même façon sur l'axe 3 et l'axe est entraîné au moyen d'un ressort 10 moins flexible que le ressort 7.

Sur l'axe 2 est calée une came en forme de cœur 11 (que l'on voit de face sur la figure 4).

Sur l'axe 3 est calée une came 12 (que l'on voit également de face sur la figure 4), ayant la forme d'un disque circulaire, sur lequel on a pratiqué une ou plusieurs encoches triangulaires *mnp* (par exemple 4 encoches placées à 90° les unes des autres).

Digitized by Google

Les cames 11 et 12 peuvent être amenées à des positions bien déterminées par la pièce L (figure 4), mobile autour de l'axe 13. Cette pièce est munie des bras 14 et 15, disposés comme l'indique la figure 2. On remarquera que pour que la rotation des axes 2 et 3 s'opère, il faut que l'extrémité du bras 15 tombe entre les points *mp* d'une des encoches de la came 3. Sans cela, il y a contact avec le pourtour circulaire de cette came et le tracé est prévu pour que le bras 14 ne puisse toucher la came 11.

La pièce L est actionnée par l'électro-aimant 16, dont l'armature 17 agit sur la tige 18. L'électro-aimant est branché dans un circuit comprenant une pile et le contact 13-14 de la fig. 1, dont la fermeture s'opère lors du signal horaire.

Le fonctionnement de ce dispositif se fait de la façon suivante :

Lorsque le contact de remise à l'heure se ferme et que la pendule marque une heure voisine de l'heure exacte, l'extrémité du levier 15 se présente devant l'une des encoches *mnp* et la came 3 tourne jusqu'à ce que le point *n* se place devant l'extrémité du levier 15. En même temps le levier 14 amène la came en cœur 11 dans une position bien déterminée. L'appareil est établi pour que, lorsque le signal horaire cesse d'actionner la pièce L, les aiguilles occupent la bonne position. A partir de ce moment, elles continuent leur course sous la seule influence du mécanisme horaire.

Ce mode de construction présente les avantages suivants :

1° L'expérience montre que l'on obtient un bon fonctionnement avec un ressort 7 très souple, ce qui permet de produire la remise à l'heure avec un petit électro-aimant et un courant relativement faible.

2° Avec la came 12 à 4 encoches, le signal horaire peut être envoyé à une heure variable à la condition de se terminer toujours à la même minute précise ou à cette minute augmentée d'un multiple de 15. Cette propriété est surtout intéressante pour la remise à l'heure au moyen d'un signal de téléphonie sans fil, émis au cours d'un concert. Dans ce cas, l'obligation d'envoyer le signal à une heure rigoureusement fixe pourrait être gênante et il est intéressant de pouvoir choisir l'heure d'émission avec plus de liberté.

3° L'expérience montre qu'il est très facile de réaliser des pendules très peu coûteuses et suffisamment précises pour que les écarts de marche maxima se bornent à 1 ou 2 minutes par semaine. La disposition de la figure 2 montre que l'on peut obtenir que le système ne soit susceptible de fonctionner qu'au voisinage de l'heure d'émission d'un signal horaire. A cet effet, on peut prévoir l'arc *mp* aussi faible que

Digitized by Google

l'on veut. Cela permet d'éviter un déréglage de l'horloge en cas de fermeture intempestive du contact de remise à l'heure.

Pour que l'appareil puisse fonctionner sans modification avec les signaux rythmés internationaux et des signaux émis à d'autres heures par exemple, au cours de concerts de radiotéléphonie, il suffit que ces derniers signaux se terminent à la même minute précise que le signal international, ou à cette minute augmentée d'un multiple de 15, la remise à l'heure pouvant s'opérer tous les quarts d'heure grâce à la came 12 à quatre encoches. L'aiguille des secondes et l'aiguille des minutes doivent, bien entendu, être calées sur les axes de façon à occuper la bonne position, lors du fonctionnement de l'électro-aimant de remise à l'heure.

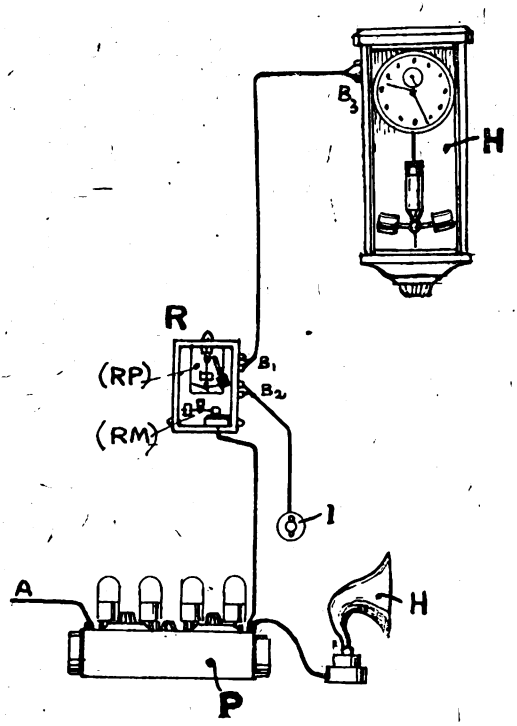


Fig. 5.

L'ensemble de l'installation est représenté sur la fig. 5. Le relais microphonique RM, le relais pendulaire et la pile commune à ces deux relais sont groupés dans une petite boîte R qu'il suffit de relier au poste de T.S.F. P et à l'horloge H à remettre à l'heure. On peut prévoir un interrupteur I pour couper le circuit de la pile des relais.

Le signal rythmé peut être composé de sons musicaux d'une

Digitized by Google

hauteur quelconque lorsque le relais microphonique comporte les organes d'un écouteur ordinaire.

Le signal peut même être constitué par une phrase prononcée de telle sorte que les syllabes soient émises successivement suivant la cadence correspondant au relais pendulaire. De la sorte, on peut obtenir que d'innombrables pendules réparties dans le monde entier se remettent à l'heure en obéissant à la formule impérative d'un unique « speaker ».

En faisant l'émission sur une note musicale déterminée et en utilisant comme relais microphonique un monotéléphone accordé sur cette note, on peut améliorer encore la sélection et réduire l'énergie utile pour le fonctionnement.

Il est à remarquer que, dans ce cas, la réception et la sélection s'opèrent grâce à une série de phénomènes de résonance électrique et mécanique se produisant à des fréquences de plus en plus faibles (résonance des circuits oscillants du poste récepteur de T.S.F. résonance de la plaque vibrante du mono-téléphone, résonance du relais pendulaire).

Dans le système que nous venons de décrire le pendule oscillant sous l'action de la pesanteur peut, bien entendu, être remplacé par un balancier équilibré associé à des ressorts spiraux comme les balanciers de montre. Cette disposition permet d'appliquer le procédé de commande sur les véhicules, navires, avions, etc...

Au lieu d'agir sur les aiguilles de la pendule à remettre à l'heure, on peut employer les autres procédés mentionnés plus haut pour régler la durée d'oscillation ou synchroniser le mouvement du balancier de cette pendule à l'aide d'un signal rythmé émis constamment ou par intermittence.

Dans le cas où la pendule à synchroniser est une pendule électromagnétique à balancier moteur, il suffit d'utiliser un signal rythmé ayant la période exacte de ce balancier ou un multiple de cette période et d'envoyer le courant téléphonique redressé dans une seconde bobine, agissant sur le balancier de façon à faire naître une force périodique synchronisante.

Nous nous bornerons à signaler cette possibilité sans nous étendre sur les divers montages susceptibles d'être utilisés pour cette application.

Les appareils que nous venons de décrire, peuvent être mis en marche par des signaux rythmés transmis par tous les procédés de radio-communication sans fil ou avec fil et notamment ceux qui per-

Digitized by Google

mettent de se servir, pour la transmission des signaux, de canalisations déjà établies et servant à d'autres usages.

Ils peuvent être appliqués non seulement à la distribution de l'heure et à la remise à l'heure des pendules, mais encore à beaucoup de problèmes de télémécanique, n'exigeant pas une manœuvre instantanée des organes récepteurs.

On pourrait notamment employer un signal rythmé comme signal de détresse des navires et résoudre par les mêmes moyens, divers problèmes de commande à distance tels que l'allumage des phares, la mise en marche de moteurs, l'explosion des mines, etc... On peut aussi réaliser facilement l'appel de plusieurs postes par sonnerie au moyen d'un appareil transmetteur, susceptible d'émettre des signaux rythmés de diverses périodes correspondant à celles de relais pendulaires qui sont affectés à chacun des postes qui doivent communiquer entre eux.

Nous signalerons également comme application intéressant particulièrement l'industrie électrique, la commande des compteurs à plusieurs tarifs et des interrupteurs horaires dans les réseaux de distribution d'énergie.

Il est à noter que, dans toutes ces applications, le procédé que nous venons de décrire offre l'avantage d'exiger seulement la réception de l'énergie infime nécessaire pour faire vibrer le téléphone. De plus, la sélection est très bonne et pour opérer des commandes multiples, on peut utiliser une gamme de nombreuses fréquences voisines, sans risque de mauvaises transmissions, car, si l'on utilise un pendule lourd oscillant avec des forces d'amortissement très faibles, l'amplitude maximum correspondant à la résonance, décroît très vite pour une faible modification de la période du signal excitateur. (Une modification de période inférieure à 1/100 suffit à supprimer la réception).

En terminant cet exposé, nous tenons à exprimer tous nos remerciements à M. Chauveau, Ingénieur de la Société Française Radioélectrique, dont les conseils nous ont été très précieux pour la mise au point des appareils que nous venons de vous présenter.

Digitized by Google

DÉTERMINATION DES DENSITÉS DE COURANT ADMISSIBLES EN RAISON DES ÉCHAUFFEMENTS DANS LES CONDUCTEURS ISOLÉS AU CAOUTCHOUC(1)

par M. LEMENAND.

Il est apparu, depuis longtemps déjà, que les valeurs des densités de courant imposées dans les anciens règlements relatifs aux installations intérieures entraînaient souvent des consommations de cuivre et des dépenses de premier établissement hors de proportion avec le but poursuivi. On relevait d'ailleurs des écarts assez grands surtout pour les conducteurs de moyenne section (50 à 150 mm²) entre les valeurs prescrites en France et les valeurs adoptées en d'autres pays, en Allemagne notamment.

Pour permettre d'appuyer les réglementations nouvelles sur des bases expérimentales aussi rigoureuses que possibles, l'Union des Syndicats de l'électricité, en accord avec les services techniques de la Ville de Paris, décida de faire procéder à une série d'essais.

Deux études, également importantes, paraissaient dès lors s'imposer :

1° Celle de l'influence de la chaleur sur les isolants à base de caoutchouc, en vue de déterminer l'échauffement maximum admissible de l'âme des conducteurs qui se trouve en contact avec les isolants;

2° Celle de l'échauffement d'un conducteur en fonction du courant qui le traverse, en vue de déterminer le courant qui donne l'échauffement maximum admissible.

Bien que paraissant inséparables, ces deux études n'ont pas été menées en même temps. La première a été envisagée seulement en ces derniers mois alors que la seconde, confiée au Laboratoire Central d'Electricité, a fait l'objet d'un rapport à l'Union des Syndicats de l'Electricité, rapport que nous résumons ici.

Le programme proposé au Laboratoire comportait la détermination dans les conditions usuelles de pose : à l'air libre sur serre-fils ou poulies, sous moulures, sous tubes, de l'échauffement de conducteurs de sections comprises entre 0.6 et 200 mm². Tous les conduc-

(1) Rapport présenté à la Semaine d'octobre 1927 de la S. F. E. (séance de la 6e Section du samedi 29 octobre).

Digitized by Google

teurs qui ont été étudiés appartenaient aux séries d'isolements industriels dits 600 et 1 200 mégohms par km. Au nombre de 68 fournis par cinq fabricants différents, ils se répartissaient à peu près également entre les sections suivantes :

Sections	Constitution du conducteur
0,636 mm²	fil $d = 0{,}9$ mm.
2,01 »	» $d = 1{,}6$ »
4,91 »	» $d = 2{,}5$ »
9,08 »	» $d = 3{,}4$ »
4,45 »	câble 7 fils $d = 0{,}9$ mm
21,5 »	» 19 » $d = 1{,}2$ »
38 »	» 19 » $d = 1{,}6$ »
60 »	» 19 » $d = 2$ »
74 »	» 37 » $d = 1{,}6$ »
116 »	» 37 » $d = 2$ »
167 »	» 37 » $d = 2{,}4$ »
196 »	» 37 » $d = 2{,}6$ »

Un programme primitif avait prévu une étude très détaillée de l'influence de conditions secondaires de pose, de la couleur de la peinture recouvrant les moulures par exemple. L'expérience a montré dès le début, que les différences entre les échauffements relevés sur un même conducteur étudié en faisant varier ces conditions secondaires, étaient moindres que les différences entre les échauffements relevés sur des conducteurs de même section provenant de fabrications différentes.

Tenant compte de ce qu'il s'agissait de donner des *valeurs moyennes*, l'étude a été ramenée à une détermination des échauffements des conducteurs posés :

1° à l'air libre, sur serre-fils ou poulies en porcelaine (conditions de pose prévues au fascicule 137 de l'U. S. E.);

2° sous moulures à deux rainures, en bois naturels, en contact sur toute leur longueur avec un mur enduit au plâtre;

3° sous tubes en tôle plombée ou en laiton, non peints, à raison de un ou de deux conducteurs par tube, les extrémités des tubes étant obturées par des tampons de coton.

Encore les deux dernières parties n'ont-elles été effectuées que sur le conducteur de chaque section ayant donné dans la pose à l'air libre, une courbe d'échauffement moyenne.

Digitized by Google

L'échauffement a été provoqué par le passage dans le conducteur d'un courant continu maintenu aussi constant que possible.

Sa mesure a été déduite de celle des variations de la résistance d'une certaine longueur de l'échantillon, convenablement choisie au triple point de vue :

1° de la précision des mesures des résistances;

2° de l'influence perturbatrice des extrémités du conducteur.

3° de l'influence des conducteurs voisins également chauds (1).

Les résistances étaient mesurées au pont double par comparaison aux résistances constantes de shunts immergés dans du pétrole.

Les échauffements ont été déduits des variations des résistances à l'aide de la formule classique

$$T - t = \frac{R_T - R_t}{R_t}\left(\frac{1}{\alpha} + t\right)$$

ou

$$(1) \qquad T - t = \left(\frac{R_T}{R_t} - 1\right)\left(\frac{1}{\alpha} + t\right),$$

dans laquelle on désigne par :

t la température initiale du conducteur;

T la température finale du conducteur;

R_t la résistance de l'échantillon à la température t;

R_T la résistance de l'échantillon à la température T;

α le coefficient de variation de la résistivité du cuivre avec la température.

Toutes corrections ont été faites pour tenir compte des variations de la température ambiante lorsque celles-ci se sont produites au cours des mesures.

Ajoutons que les connexions entre les extrémités de la longueur du conducteur soumise à la mesure et les boîtes de résistances constituant les bras du pont double étaient réalisées par des conducteurs très fins (0,4 à 0,5 mm de diamètre). Pour les fils et les petits câbles, on faisait avec ce conducteur une ligature entourant l'échantillon; pour les gros câbles on a obtenu de bons résultats en reliant le fil fin à un clou

(1) Nous citerons à ce sujet à titre d'exemple :

a) le cas de conducteurs posés sur serre-fils, horizontalement, le long d'un mur vertical, avec deux brins parallèles : la résistance en étude était prise sur le brin le plus haut.

b) le cas de conducteurs posés sous tubes, horizontalement, le long d'un mur vertical, à raison d'un conducteur par tube, deux tubes étant accolés : la résistance en étude était prise dans le tube le plus haut.

Nous nous sommes placés dans tous les cas de manière à nous trouver dans les conditions d'influence conduisant au plus grand échauffement.

Digitized by Google

forcé dans le câble et touchant ainsi un grand nombre des brins élémentaires de l'âme.

Le choix du conducteur à soumettre à toute la série des épreuves ayant été effectué comme il a été dit précédemment (courbe moyenne d'échauffement à l'air libre, relevée ainsi sans influence de causes se-

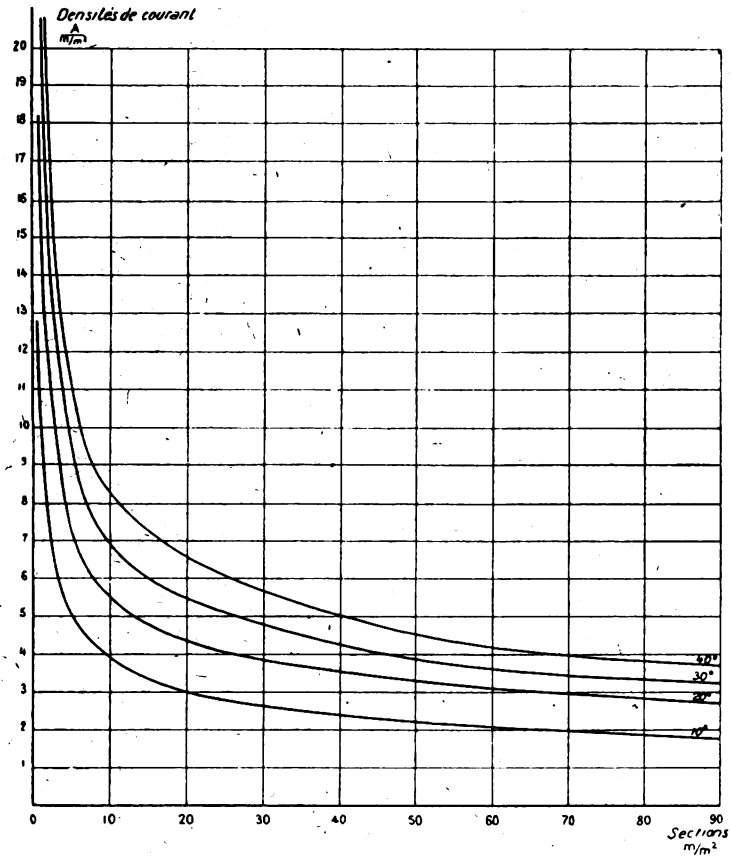


Fig. 1. — Courbes représentant, en fonction de la section des conducteurs, les variations de la densité de courant correspondant à un échauffement déterminé. Conducteurs posés à l'air libre.

condaires de refroidissement ou d'échauffement) on a procédé à la détermination des échauffements par la succession des opérations suivantes :

1° Tracé par points, relevés expérimentalement, des courbes représentant, pour un courant donné, les variations de la résistance R_T en fonction du temps.

Chacune de ces courbes, à allure exponentielle, donne une valeur

Digitized by Google

limite de R_T pour laquelle on calcule la valeur du rapport $\frac{R_T}{R_t}$ entrant dans la formule (1).

2° Tracé par points, déduits des tracés précédents, des courbes représentant les variations des valeurs du rapport limite $\frac{R_T}{R_t}$ en fonction du courant I.

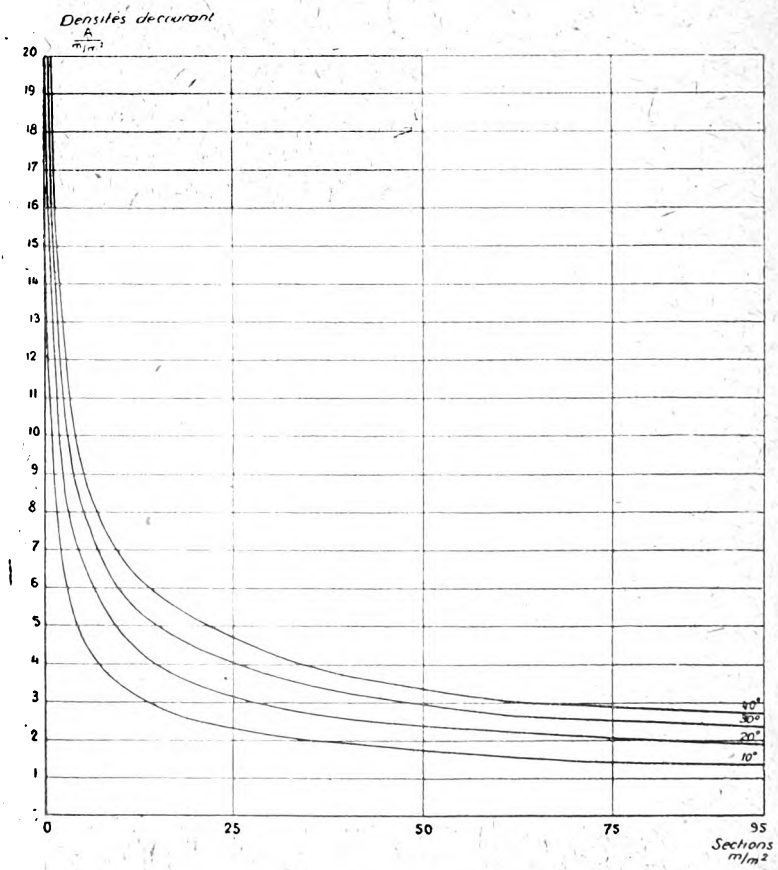


Fig. 2. — Courbes représentant, en fonction de la section des conducteurs, les variations de la densité de courant correspondant à un échauffement déterminé. Conducteurs posés sous moulures.

Ces tracés permettent le passage aux courbes représentant les variations de l'échauffement en fonction du courant pour chacune des sections étudiées.

Les résultats définitifs sont traduits par les courbes des figures 1, 2, 3 et 4 qui donnent, en fonction de la section des conducteurs, les densités de courant conduisant à des échauffements de 10, 20, 30 et 40 de-

Digitized by Google

grés. Il nous a paru, en l'absence des conclusions de l'étude de la première des questions posées au début de ce rapport, que les températures limites auxquelles est susceptible de conduire la dernière de ces

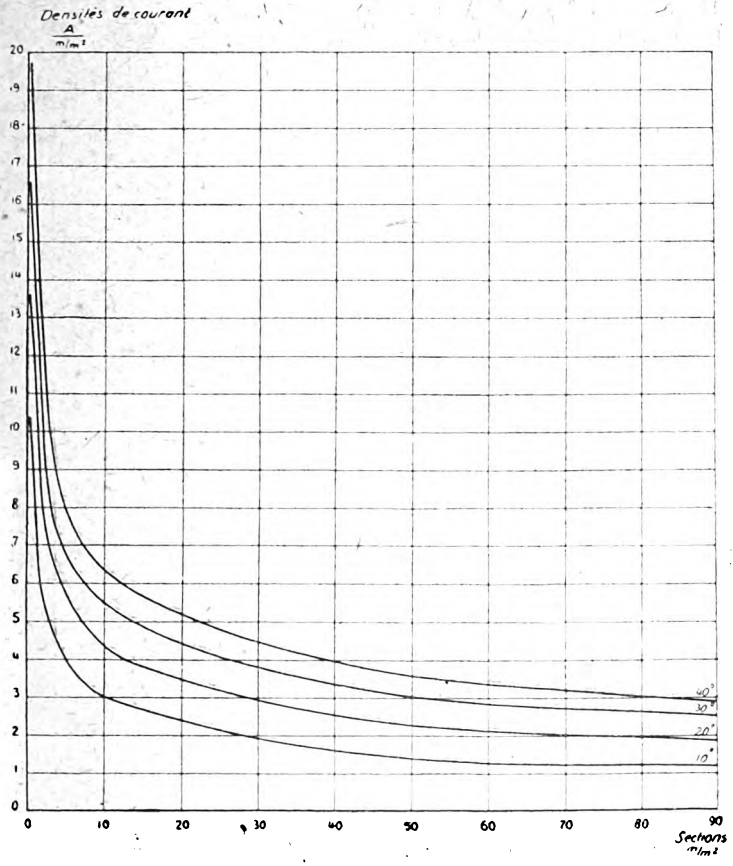


Fig. 3. — Courbes représentant, en fonction de la section des conducteurs, les variations de la densité de courant correspondant à un échauffement déterminé. Conducteurs posés sous tubes (1 conducteur par tube).

valeurs (40 degrés) dans le cas d'une température ambiante relativement élevée (30 degrés) sont des maxima pour des conducteurs isolés au caoutchouc.

Note. — Postérieurement à la communication de nos résultats à l'Union des Syndicats de l'Electricité et à la Ville de Paris, « l'Elektrotechnische Zeitschrift » a publié, le 20 janvier 1927, un article sur « le régime de charge des canalisations isolées ».

Dans cet article le Dr R. Apt de Berlin, rend compte d'essais effectués en différents laboratoires pour déterminer les densités de courant admissibles. Les conditions d'études n'étaient pas identiques aux

Digitized by Google

nôtres. Néanmoins, nous avons pu comparer les résultats donnés par le Dr R. Apt relatifs à un conducteur dit « N. G. A. » (Normal Gummi aden Leitring; conducteur en cuivre isolé sous tresse), avec ceux que donnerait notre étude.

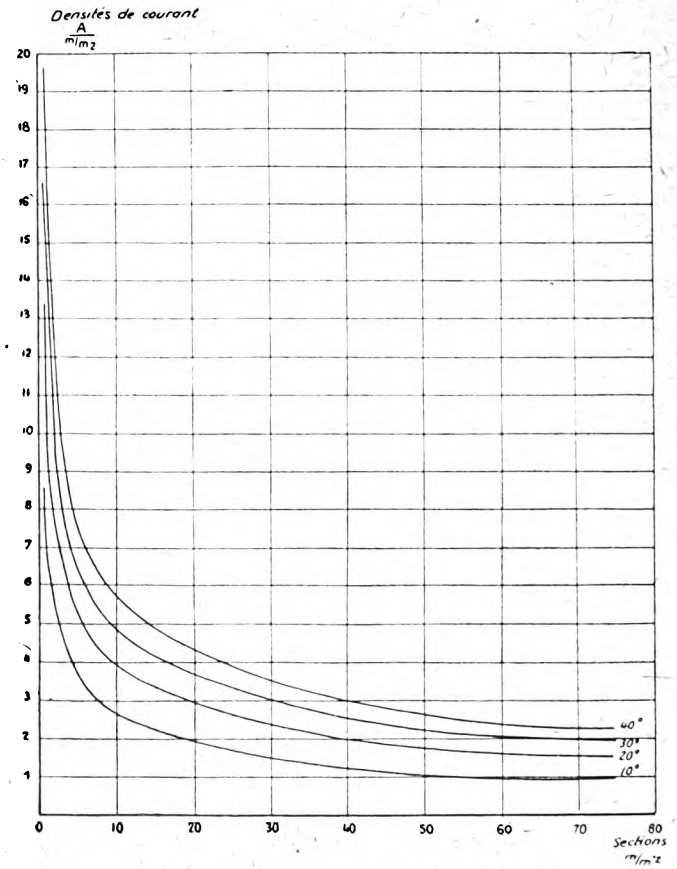


Fig. 4. — Courbes représentant, en fonction de la section des conducteurs, les variations de la densité de courant correspondant à un échauffement déterminé. Conducteurs posés sous tubes (2 conducteurs par tube).

Pour la pose à deux conducteurs sous tube, en admettant un échauffement de 40 degrés, on serait amené à tolérer les courants suivants :

Section mm²	Expériences allemandes	Expériences françaises (d'après figure 4)
2,5	25 ampères	26 ampères
10	55 ampères	57 ampères
25	100 ampères	100 ampères.

Les écarts sont négligeables, inférieurs même à ceux que nous avons observés sur des conducteurs provenant de fabricants français différents.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Groupe du Sud-Est.

Composition du Bureau et du Comité pour 1928.

Président d'Honneur : M. Boutan (*Ancien Président*).
Anciens Présidents : MM. Rigollot, Barbillion;
Président pour l'exercice 1927-1928 : M. Berne;
Président pour l'exercice 1928-1929 : M. Viel;
Vice-Présidents : MM. Delon et Thovert;
Trésorier : M. d'Aubenton-Carafa;
Secrétaire général : M. Dumont;
Membres du Comité : MM. Dusaugey, Vautier, Bergeon, Chipart, Godinet, Lefevre, Lépine. Locquin, Maréchal, Menjou, Piaton, Pison, Reynauld, de Sparre.

Groupe du Sud-Ouest.

Composition du Bureau et du Comité pour 1928.

Président : M. A. Delasalle;
Vice-Présidents : MM. Thierry, Wagner;
Secrétaire général : M. L. Rousseau;
Secrétaire général adjoint : M. Foch;
Trésorier : M. G. Rousseau.
Membres du Comité-1928 : MM. Courant, Foch, Lacharme, Remauge; 1928-1929 : MM. Berthet, Deschamps, Ledieu, Marchandeau, Raynaud, L. Rousseau, G. Rousseau, G. Wagner; 1928-1929-1930 : MM. Armengaud, Delasalle, Lecoq, Thierry.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS

SOMMAIRE

2e Section. — Discussion du sommaire du rapport annuel sur l'éclairage et répartition du travail de rédaction, p. 186. — Discussion d'un rapport présenté par M. Peri, à Bellagio, sur l'éclairement apparent des routes (M. Desarces), p. 187. — Discussion du rapport de M. Granat, sur l'éclairage des studios de prises de vues cinématographiques, p. 188.

3e Section. — L'électroanalyse rapide (M. Lassieur), p. 190. — L'électrolyse du chlorure de sodium avec cathode de mercure (M. Bunet), p. 192.

5e Section. — Adaptation du réseau téléphonique français, au service téléphonique universel (M. Demogue), p. 199. — Les procédés de mesure dans la téléphonie à longue distance : le fréquencemètre (M. Dunand), p. 202.

2e SECTION. — ECLAIRAGE. - CHAUFFAGE

Président : M. M. Leblanc.

Séance du 20 décembre 1927. — 1° *Discussion du sommaire du rapport annuel sur l'éclairage et répartition du travail de rédaction par M. Maurice Leblanc.*

M. le Président lit le sommaire du rapport annuel sur l'éclairage, auquel il est apporté quelques modifications de détail. Il procède en même temps à la distribution du travail de rédaction des différentes parties du rapport. Les rapporteurs désignés sont :

Lampes à incandescence	M. Maisonneuve.
Lampes à arc et tubes luminescents	M. M. Leblanc.
Phares et projecteurs	M. Marsat.
Eclairage des rues	M. Desarces.
Eclairage extérieur	M. Matigot.
Enseignes lumineuses	M. Fonseque.
Eclairage intérieur	M. Wetzel.
Luminaires	M. de Valbreuze.
Photométrie et recherches physiques	M. Jouaust.
Physiologie de l'œil	Docteur Couvreux.

Digitized by Google

Actions thérapeutiques	Docteur Saidman.
Eclairage des studios	M. Granat.
Reproductions des dessins industriels	M. M. Leblanc.
Photogravure	M. Abgrall.
Actions biologiques	M. M. Leblanc.
Méthodes de calcul	M. Weizel.
Législation	M. M. Leblanc.
Propagande	M. de Valbreuze.

3° *Discussion d'un rapport présenté par M. Peri à Bellagio sur l'éclairement et l'éclairement apparent des routes, par M. Desarces.*

Le but de l'étude de M. Peri est d'examiner la relation existant entre l'éclairement et la radiance ou la brillance des routes éclairées à la lumière artificielle.

L'auteur rappelle que l'œil est impressionné par la brillance de la surface de la chaussée et que c'est cette brillance et non l'éclairement qui importe au point de vue de la visibilité. Les surfaces constituant les chaussées ne suivent pas la loi de Lambert. Il faut donc tenir compte des positions relatives de l'observateur, du point observé et des appareils d'éclairage. De plus, l'observateur peut être fixe ou mobile.

M. Peri considère d'abord un observateur fixe placé au-dessous de l'une des lampes. La brillance des différents points de la voie résulte de l'intensité des rayons lumineux, de l'angle d'incidence de ces rayons et du facteur de réflexion de la chaussée. M. Peri compare les courbes d'éclairement et de brillance mesurées dans ces conditions en différents points de l'axe de la chaussée.

Il considère ensuite un observateur mobile, un conducteur d'automobile par exemple, regardant à une distance déterminée en avant de la voiture.

L'auteur étudie successivement les voies bitumées, pavées en pierre et en macadam, sèches d'abord, puis mouillées. Il résulte de ces expériences :

1° Que la distribution de la radiance est beaucoup plus uniforme que celle de l'éclairement.

2° Que, dans les trois types de voies considérées, l'uniformité de la distribution de la radiance est d'autant meilleure qu'on passe du bitume au pavage en pierre, puis au macadam.

3° Que celle des trois surfaces étudiées qui se rapproche le plus de la réflexion régulière est la surface bitumée et celle qui s'en éloigne

Digitized by Google

le plus est le macadam. Par temps de pluie, le facteur de réflexion est considérablement augmenté.

M. Peri a également tracé les courbes de répartition de la brillance sous différents angles, dans un plan vertical, de petits éléments superficiels de diverses natures de chaussée et des courbes de radiance, sous différents angles d'émission avec la lumière diffusée du jour.

M. Desarces fait observer qu'il serait intéressant de connaître les conditions matérielles dans lesquelles les mesures ont été faites et qu'il semble exister une certaine incertitude outre les termes de radiance et de brillance employés par l'auteur.

Séance du 24 janvier 1928. — *Discussion du rapport de M. Granat sur l'éclairage des studios de prises de vues cinématographiques.* — M. Granat résume simplement les conclusions principales de son rapport et demande aux personnes présentes de bien vouloir formuler leurs observations.

M. Chateau, directeur du théâtre de prises de vues de la Société des Studios Réunis, apporte des arguments opposés à la thèse soutenue par M. Granat.

Il rappelle d'abord un passage d'une conférence qu'il a faite en février 1927 à la Société Française de Photographies, dans lequel il résumait l'évolution de la technique des théâtres de prises de vues depuis 1920. A cette date les studios cinématographiques n'étaient encore qu'un atelier photographique très agrandi, c'est-à-dire qu'il était vitré aussi largement que possible pour utiliser au maximum la lumière du jour. La puissance maxima installée à cette époque dans les studios français était d'environ 300 kW. La situation financière n'était d'ailleurs pas très brillante. C'est en 1925 que se montrent quelques velléités de moderniser les théâtres de prises de vues; les frais de mise en scène devenant de plus en plus lourds, on se rend compte qu'il n'est plus possible d'attendre le bon vouloir du soleil, il faut travailler coûte que coûte sans interruption. On se décide à peindre en noir les vitrages des studios ou à en construire de tout à fait obscurs, et à ne plus employer que la lumière électrique.

Actuellement, on trouve en France des studios qui utilisent jusqu'à 1 500 kW environ.

Tous les studios français dignes de ce nom ont été construits uniquement dans des locaux établis spécialement pour l'exercice de cette industrie. L'installation électrique a doublé en moyenne depuis 1922

Digitized by Google

et le courant alternatif n'est pour ainsi dire plus du tout employé sur les plateaux, ce qui élimine complètement les phénomènes de battement. Les questions de dispositions générales du bâtiment, du chauffage et de la ventilation n'ont pas été non plus négligées. M. CHATEAU donne à ce sujet des détails sur les modes de chauffage, les dispositifs d'aération, les ateliers pour la confection des décors, les méthodes de fixation des éléments de décor, la manutention autrefois manuelle, qui utilise maintenant des chariots roulants et des monte-charges.

Au point de vue de l'impression des films ordinaires et orthochromatiques, M. CHATEAU estime que l'on est parfaitement au point et que les arcs nus, les arcs clos et les arcs à mercure sont suffisants. Les techniciens des studios ont recherché les sources de lumière pouvant, dans les meilleures conditions, impressionner les nouveaux films et ont fait des essais industriels basés sur les données scientifiques mises à leur disposition. Les charbons dits « Lumière du jour » de la Société Lorraine ont permis de se passer d'écrans correcteurs. La maison Brandt a mis à l'étude et a prêté aux studios des portants et des plafonniers à lampes à incandescence survoltées qui prendront place parmi l'outillage courant. Enfin, on étudie des éclairages mixtes, tubes à mercure et lampes à incandescence qui permettront un emploi rationnel de ces dernières. L'utilisation des lampes à arc nu a été rendue plus efficace par des lanternes qui les groupent par 2, 3 ou 4 et qui envoient le flux lumineux dans la bonne direction. Les plafonniers, qui étaient à peu près inexistants en 1922, sont tous maintenant du système à charbons convergents, dont le rendement est parfait dans le sens vertical. Ces plafonniers sont montés généralement sur des chariots roulant sur des rails fixés parallèlement les uns aux autres au plafond des studios et séparés par des passerelles de service. Ils peuvent monter ou descendre par l'action d'un treuil solidaire du chariot. Ces deux sortes d'appareils d'éclairage par arc, portants et plafonniers, sont complétés par des supports où sont fixés des tubes à mercure, appareillage depuis longtemps mis au point par les sociétés Hewittic et Verreries Scientifiques.

Cet ensemble constitue ce qu'on appelle l'éclairage d'ambiance. Une deuxième catégorie d'appareils d'éclairage à rayons dirigés est nécessaire. Il existe maintenant sur le marché français également des projecteurs, qui, au point de vue éclairage, sont aussi bons que le sunlight, seul appareil convenable en 1922. Tous sont des appareils établis pour donner un faisceau à divergence notable de manière à

Digitized by Google

éclairer de près dans les meilleures conditions les scènes cinématographiques. Pour certains effets particuliers, on utilise comme par le passé des spots à lentilles.

M. CHATEAU termine par une description rapide des installations auxiliaires et souhaite que dans le domaine technique, des appareils convenables permettent bientôt de remplacer par des mesures précises l'empirisme qui seul encore, guide les opérateurs de prises de vues.

M. le Président remercie M. CHATEAU de son intéressante communication.

M. OSWALD de la Compagnie Lorraine des Charbons présente à la Deuxième Section, deux planches représentant des spectres d'arcs de différentes compositions, parmi lesquels les charbons dits « lumière du jour » destinés à impressionner les films orthochromatiques.

M. DIDIEE préconise l'utilisation simultanée des lampes à incandescence et des arcs à vapeur de mercure, de façon à faire coïncider le spectre de la lumière avec celui de la pellicule. Dans ce but, les lampes à incandescence pourraient être montées sur des rhéostats, afin de faire varier la proportion des rayons rouges.

M. MATIGOT présente la reproduction photographique d'une affiche en couleur éclairée par des lampes à arc et par des lampes à atmosphère gazeuse. Les résultats obtenus au point de vue rendu des couleurs, avec les lampes à atmosphère gazeuse, sont surprenants.

3e SECTION. — ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTRO-MÉTALLURGIE. PILES. — ACCUMULATEURS.

Présidence de M. Charles MARIE.

SÉANCE DU 21 JANVIER 1928. — M. LASSIEUR présente une communication sur *l'Electroanalyse rapide*.

L'électrolyse permet de doser un certain nombre d'éléments qu'il est possible de déposer quantitativement sur une électrode, la cathode généralement. Ces éléments sont les suivants : l'or, le platine, l'argent, le mercure, l'antimoine, le bismuth, le cuivre, le plomb, l'étain, le cadmium, le nickel, le cobalt et le zinc.

On peut se proposer deux problèmes :

1° Déposer un élément se trouvant en solution à l'état de pureté.

2° Séparer et doser plusieurs éléments, co-existants dans la même solution.

Digitized by Google

Dépôt d'un élément isolé.

L'opération est très simple tout au moins en principe, et il suffit de faire passer dans l'électrolyte un courant, sous tension convenable, jusqu'à précipitation totale des ions à doser. Il faut avoir soin d'obtenir un dépôt compact qu'il soit possible de laver, de sécher et de peser, sans avoir à craindre que quelques particules se détachent de la cathode et soient perdues. Les dépôts spongieux, non cohérents, sont obtenus généralement quand le courant est convoyé non seulement par les ions métalliques, mais par les ions hydrogène. Pour empêcher ceux-ci de prendre activement part à l'électrolyse, on a généralement recours à deux procédés.

1° On utilise une faible densité de courant qui permet aux ions métalliques d'assurer à peu près à eux seuls la décharge positive sur la cathode. Cette manière d'opérer a pour effet de rendre la vitesse de dépôt très faible et nécessite beaucoup de temps pour l'exécution des analyses.

2° On fait affluer les ions métalliques vers la cathode. Ce résultat est obtenu soit par rotation électromagnétique, procédé Frari, soit par agitation du liquide, obtenue le plus souvent par rotation de l'anode. Dans ces conditions les opérations sont singulièrement accélérées et il est possible, avec les petites cathodes utilisées couramment, d'employer des courants assez intenses : 5 et même 10 ampères, et d'exécuter des dosages en un temps n'excédant pas 20 minutes pour déposer 1 gramme au plus de l'élément.

Séparations.

Pour effectuer des séparations par la voie électrolytique, on peut agir sur trois facteurs :

1° La réaction du milieu.

Certains éléments se déposent avant la libération de l'hydrogène, d'autres au contraire ne sont déposés qu'au-dessus. On peut, en réglant l'acidité de la solution, c'est-à-dire en fixant la tension de libération des ions H, empêcher tel ou tel élément de se déposer. Ainsi, en milieu très acide, on pourra doser le cuivre et le séparer du nickel, ce dernier élément ne pouvant être déposé qu'en milieu alcalin.

2° La formation d'ions complexes.

Lorsque deux éléments sont électrochimiquement très voisins, on peut les séparer en engageant l'un d'eux dans un ion complexe, au

Digitized by Google

sein duquel il est dissimulé. Il faut évidemment que l'ion complexe choisi soit robuste. Tout se passe comme si l'élément avait effectivement disparu de la solution et la séparation est évidente.

3° Le contrôle du potentiel cathodique.

Ce contrôle auquel il a été souvent fait appel et que nous avons rendu pratique en imaginant certains dispositifs qu'il serait trop long d'examiner ici, permet de faire des électrolyses à potentiel constant. En choisissant convenablement les potentiels, on peut déposer certains éléments et éviter que d'autres se précipitent : principe des séparations par potentiels gradués.

Ces opérations ne sont praticables qu'en électrolyse rapide, ce qui accroît singulièrement l'intérêt des méthodes d'électroanalyse rapide.

L'électroanalyse rapide, avec contrôle du potentiel cathodique, a permis d'étendre considérablement le domaine de l'électrolyse appliquée à la Chimie analytique.

A la suite des travaux que nous avons exécutés depuis 8 ans, il est possible de séparer et de doser les éléments suivants réunis au sein d'une même solution : antimoine, cuivre, plomb, étain, cadmium, nickel, zinc.

La méthode appliquée est simple et spécialement adoptée à l'analyse industrielle d'un certain nombre d'alliages courants; laitons, bronzes, soudures, anti-friction, maillechort, métaux industriels.

M. KRIEGER signale qu'à la Thomson, les analyses, conduites d'une manière un peu différente, sont mises en train le soir, et se retrouvent terminées le lendemain matin.

M. BUNET présente une communication sur *l'Electrolyse du chlorure de sodium avec cathode de mercure.*

Le procédé permet de décomposer le chlorure de sodium en chlore et sodium; ce dernier se dissolvant dans le mercure. Celui-ci est animé d'un mouvement qui l'emporte, avant que le sodium n'ait été sensiblement décomposé par la solution aqueuse, dans un appareil annexe où l'action de l'eau détermine la formation d'hydrogène et de soude.

La forme industrielle a été donnée par Kellner, puis par Solvay, dont les brevets datent de 1898. Des installations importantes ont été réalisées; l'usine de Saint-Auban dont j'ai dirigé l'établissement pendant la guerre peut produire jusqu'à 15 tonnes de chlore par jour.

Il peut être intéressant de comparer ce procédé à ceux qui emploient

Digitized by Google

le diaphragme, comme les appareils dont nous a parlé M. SARROT DU BELLAY le mois dernier. Il est d'ailleurs impossible de dire quel est le meilleur procédé : c'est une question d'espèce. Cependant, on peut trouver que le modèle à diaphragme a rendu techniquement tout ce qu'il peut donner et qu'on ne peut espérer que des perfectionnements de détail, fort intéressants d'ailleurs quelquefois, comme ceux que nous a exposés M. SARROT DU BELLAY, tandis que le modèle à cathode de mercure est probablement susceptible de perfectionnements très importants qui en changeraient peut-être complètement la physionomie.

Tensions théoriques de décomposition.

En partant de $Na + Cl = NaCl$ (dissout) $+ 96{,}6$ c;
$Na + H^2O = NaOH + H + 112{,}5$ c (soude dissoute) $- 69$ c (eau liquide) soit $+ 43{,}5$ c ;
$Hg^6 + Na = Hg^6Na + 19$ c (amalgame dissout dans excès de mercure),
on obtient :

f. e. m. de l'appareil à diaphragme $\frac{(96{,}6 - 49{,}5)4180}{96500} = 2{,}30$ volts,

f. e. m. de l'appareil à mercure $\frac{(96{,}6 - 19)4180}{9650} = 3{,}36$ volts.

Il faut ajouter les tensions $\theta \frac{dU}{dt}$, assez mal déterminées d'ailleurs, qui amènent, en arrondissant, à 2,4 et 3,4 volts, soit une différence de 1 volt en faveur de l'appareil à diaphragme.

Tensions pratiques de décomposition. — Il faut ajouter aux f. e. m. ci-dessus la chute de tension due à la résistance. A densité de courant égale cette chute est plus faible avec les appareils à mercure, car on peut rapprocher davantage les électrodes, et un diaphragme a toujours une résistance électrique appréciable. Il en résulte que jusqu'à un certain courant absorbé, les cuves à mercure ont une tension plus élevée; au delà, c'est le contraire. En pratique, pour des raisons d'économie, on adopte les densités de courant plus grandes dans le cas de mercure, ce qui élève le courant ci-dessus, et de telle façon que les appareils réalisés demandent toujours en réalité une tension plus élevée dans le cas du mercure.

Dans le procédé au mercure, on faisait — et on emploie peut-être encore — les anodes en platine. Alors on en réduisait à l'extrême les

Digitized by Google

dimensions en adoptant dans des fils très fins des densités très grandes. Alors que sur une cuve à diaphragme à plein courant, on a généralement 4 V, quelquefois un peu moins, quelquefois un peu plus, sans tenir compte des barres de connexions entre cellules, une cuve à mercure du modèle dont nous parlerons tout à l'heure donne, comme tension pratique, en service industriel, 4,7 V pour 5 500 A avec platine aussi réduit que possible, mais seulement 4,1 V avec anodes de graphite. En passant à 10 000 A, la tension dans ce dernier cas monte vers 4,7 V.

Avantages et inconvénients des deux types d'électrolyseurs.

Le procédé au mercure donne de la soude pure ; avec le procédé à diaphragme la soude contient toujours du chlorure de sodium.

Avec le mercure, on obtient immédiatement une solution de soude commerciale, vers 40° B (densité 1,383 avec 35 pour cent de NaOH) ; on a même dit pouvoir obtenir pratiquement 50° B (densité 1,53 avec 40 pour cent de NaOH). On peut donc se passer d'appareils évaporatoires.

Les procédés à diaphragme donnent des solutions faibles contenant vers 10 pour cent de NaOH tout au plus. La dépense de charbon pour l'évaporation indispensable doit être mise en balance avec l'augmentation d'énergie électrique requise par les appareils à mercure.

L'immobilisation de mercure d'un appareil de 10 000 A atteint 1 250 à 1 600 kg ; 1 250 kg sont suffisants. A 80 francs le kilo, on arrive à 100 000 francs. Le mercure se perd petit à petit. Chaque cellule perd environ 40 kg par an ; on peut chiffrer cette perte vers 4 000 francs par an.

Une cuve de 10 000 A en service courant, fonctionnant 6 000 heures par an entre 3/4 et plein courant, produit 66 tonnes de chlore et 75 tonnes de soude, soit au total vers 140 tonnes de produits (sans arrêt et à pleine charge on aurait plus de 200 tonnes). La valeur de la soude et du chlore étant égale à peu près vers 1,40 francs le kilo, une cuve produit 200 000 francs par an avec notre supposition (au maximum, sans arrêt et toujours à pleine charge, 300 000 francs). Si l'on charge le mercure de 12 pour cent annuels, et qu'on ajoute la perte, la dépense due au mercure est de 16 000 francs par an ou 8 pour cent de la valeur des produits fabriqués en moyenne.

Avant la guerre, le mercure coûtait 1/14e de sa valeur actuelle, les produits fabriqués tout au plus 1/5e, le mercure ne représentait donc

Digitized by Google

que 3 pour cent. Cette situation peut revenir avec un nouvel équilibre des prix, notamment si de nouveaux gisements de mercure sont exploités, comme ceux qui sont autour de l'Adriatique dit-on.

Le prix de revient comparé entre les deux procédés est impossible à fixer d'une manière absolue, il dépend du lieu, du coût des matières, de la valeur qu'on attribue aux produits finis, du prix de l'énergie électrique, du coût des installations, bâtiments. Comme indication première, on peut raisonner ainsi, sans attacher une importance absolue aux résultats que nous trouverons pour chiffrer l'avantage du procédé à diaphragme par tonne de chlore accompagnée de 1,13 tonne de soude :

1° Economie d'énergie électrique à 0,10 franc le kWh, à raison de 862 000 Ah par tonne de chlore et un gain de 0,6 V, soit 517 kWh.....	+ 52 francs
2° Charge spéciale pour usage de mercure (16 000 fr pour 66 tonnes de chlore).....	+ 243 »
3° Evaporation de l'eau entre 10 pour cent de soude et la liqueur commerciale pour 1 130 kg de soude, environ 6 000 kg d'eau, soit 800 kg de charbon.....	— 100 »
	+ 195 »

pour une valeur de produits égale à environ 3 000 francs. C'est 6,5 pour cent. Avoir de la soude pure représente-t-il une telle majoration, d'ailleurs variable dans d'autres cas ? Il ne peut y avoir de réponse absolue.

Anodes.

On a cru longtemps que le platine est absolument nécessaire et on l'emploie peut-être encore. Pour une cuve de 10 000 A, il faut un minimum de 3 kg de platine, valant actuellement 60 000 francs le kilo, soit avec les réserves indispensables, un capital d'environ 200 000 fr. Le platine se perd par usure, par vols, par disparition lors d'explosions, etc... On admet que, par an, cela représente 2 ou 3 pour cent de la valeur, soit vers 5 000 francs.

Le graphite a remplacé le platine depuis plusieurs années ; la première installation importante avec graphite a été celle de Saint-Auban, que j'ai construite pendant la guerre. Il faut environ 300 kg de graphite par cuve. Son usure est très variable ; elle dépend d'abord de la qualité du produit, ensuite de la densité de courant et de la tempéra-

Digitized by Google

ture des cellules, mais surtout de la pureté du sel ; les sulfates hâtent l'usure des anodes. Le prix d'une garniture est de 4 à 5 000 francs, et si on fait le remplacement à peu près annuellement, on dépense exactement ce qu'était l'entretien du platine, en ayant économisé le capital.

Cellule et pile de 10 000 A.

Ce sont des bacs longs, atteignant 15 m sur environ 0,70 m de large et 0,20 m de haut. Ils sont constitués par des tôles et cornières très résistantes ; ils portent des vis calantes pour leur donner une inclinaison bien définie. Les deux bacs étant posés l'un contre l'autre, et garnis de ciment extrêmement lisse, on donne une pente, de telle façon que le mercure coule d'un bout à l'autre de la cellule, franchisse un petit déversoir l'amenant dans une pièce de raccordement l'introduisant dans la pile ; la pente de la pile en sens inverse, le ramène en regard de l'extrémité de départ de la cellule, mais environ 1 dm au-dessous ; il est pris par une petite turbine spéciale qui le remonte dans la cellule. Il continue ainsi indéfiniment. Le tour se fait en l'ordre d'une demi-heure.

La hauteur minimum de mercure à adopter est 6 mm. Le volume de mercure est vers 90 dm^3 au minimum.

Le pôle — est lié à des pièces en forme de champignon, de cuivre ou de fer, traversant le fond et dont la partie large trempe dans le mercure, à raison d'une tous les deux mètres environ.

Les anodes + sont des baguettes de charbon disposées en long et en large. Dans ce dernier cas, elles ont un peu moins de 50 cm de longueur, avec une section ronde de 32 à 35 mm de diamètre, ou trapézoïdale. Il y a 300 de ces pièces par cellule. Chacune d'elles est raccordée par filetages à des pièces de graphite passant à l'intérieur, au travers du couvercle, souvent de fibro-ciment. Les joints de ce couvercle sont rendus étanches au moyen de mastic au goudron.

La distance des anodes au mercure est de 15 à 20 mm. On ne doit pas rapprocher plus, car il ne faut pas que la couche de saumure qui touche au mercure soit agitée par des bulles et contienne du chlore.

La résistance intérieure de la cellule est d'environ 0,0001 ohm ou un peu plus. Sa température est ordinairement de 40 à 50°.

La saumure, ou solution de sel, est introduite à l'extrémité haute et la sortie se fait à l'autre extrémité, entre les deux, des canalisations amènent au bac où l'on charge le nouveau sel et aux pompes, installations communes à toute une série de bacs.

Digitized by Google

La pile est constituée comme la cellule, une circulation d'eau la traverse, se chargeant de soude. Dans le mercure plongent des pièces en U, de fonte, formant le + de piles au sodium, mises en court-circuit. L'attaque du sodium se fait ainsi facilement.

Dispositions générales.

Une des préoccupations principales doit être de recueillir toutes les gouttes de mercure qui sautent. On met souvent les cellules au premier étage, le sol est à claire-voie et lavé constamment à l'eau. Le sous-sol comporte des canaux aboutissant à des puisards. On distille tout ce qui peut contenir du mercure : les boues de ces puisards, les morceaux de ciment des vieilles cuves, les U de fonte des piles, le mercure sale, etc...

Il faut employer du sel qui ne contient que très peu de magnésium. L'amalgame de magnésium se décompose plus facilement et rend plus décomposable l'amalgame de sodium.

Des précautions spéciales doivent être prises pour éviter au personnel les maladies spéciales dues au mercure. On peut y réussir parfaitement.

PERFECTIONNEMENTS POSSIBLES.

Plusieurs perfectionnements ont été signalés, notamment les suivants, spécifiés dans des brevets que nous avons pris autrefois. Nous ne pensons pas qu'on ait fait des applications industrielles.

1° Si on fait le fond de la cellule en tôle continue, on peut fonctionner sans mercure ; on fait alors des chlorates et ce peut être intéressant de les obtenir à volonté avec le même appareillage. Dans ce cas, on peut réduire la résistance intérieure en descendant les anodes ou en plaçant des blocs conducteurs en fer ou graphite sur le fond.

2° On pourrait supprimer les piles accompagnant chaque cellule à chlore en disposant une pile unique pour toute une série de cellules. Avantages : soude plus concentrée, nettoyage plus facile du mercure ; diminution de la quantité de mercure nécessaire et des pertes ; simplification des canalisations de soude et d'hydrogène. L'écoulement continu du mercure mettrait l'installation, comportant un certain nombre de bacs en série, en court-circuit direct. Nous avons décrit des moyens d'éviter cet inconvénient en déchargeant le mercure d'un bac après l'autre grâce à des clapets actionnés par un distributeur d'air comprimé ou des contacteurs électriques joints à un manipulateur ro-

Digitized by Google

tatif. On pourrait aussi décharger le mercure par un jet pulvérisé au moyen de soufflage d'un gaz ou de répulsions électromagnétiques.

3° Au lieu de produire l'hydrogène, on peut utiliser, dans les grandes usines tout au moins, l'action réductrice de l'amalgame sur d'autres corps en joignant d'autres fabrications. L'amalgame de sodium est très employé en chimie organique et on gagnerait certainement à utiliser un amalgame qui n'a jusqu'ici que la valeur de soude qu'on en peut tirer.

4° Enfin, on pourrait essayer d'extraire le sodium métallique. A première vue, une telle entreprise peut sembler chimérique, la proportion en poids de sodium étant faible, 1/500 et moins si le mercure circule vite et qu'on réduise le courant. Ne pourrait-on enrichir l'amalgame ? Peut-être, par des procédés centrifuges, par séparation magnétique... Mais ce n'est pas sûr.

La chaleur spécifique du mercure est 0,0333 ; sa chaleur de vaporisation est 62 calories. Il bout à 360°, tandis que le sodium ne distille qu'à 900° et n'a qu'une tension de vapeur faible à 360° ; du reste, on peut ne pas le séparer complètement, il resterait alors en roulement une certaine quantité de sodium.

Par kilo de mercure distillé, il faut 74 calories et 1 000 kg demandent 74 000 calories. L'appareil distillatoire simple (on fait des chaudières à mercure pour alimenter des turbines de 10 000 kW), donnerait aisément une récupération très considérable. Supposons qu'on ait à fournir encore 50 000 calories par kilo de mercure ; c'est 10 kg de charbon ou l'ordre de 1 franc ; comparons à la différence de valeur entre 1 kg de sodium et la soude correspondante, soit 15 francs. L'Entreprise pourrait donc être intéressante, même avec du sodium en proportion de 1/1 000 ou même moins.

M. Krieger remarque qu'il serait, en principe, préférable de fermer le circuit de la « pile » par un contact extérieur, car on éviterait ainsi l'amalgamation de la pièce de fonte. M. Bunet répond que le dispositif qu'il a décrit et qui est le plus employé se justifie, au moins dans une certaine mesure, par une considération de simplicité.

M. Delton indique que le procédé Hulin, qui utilisait une cathode de plomb fondu, fut abandonné en 1897, en raison de l'excessive consommation d'anodes (qui étaient alors en carbone amorphe), de la présence d'une grande proportion de CO^2 dans le chlore (8 à 10 pour cent), et de la décomposition assez difficile de l'alliage plomb-sodium (formation de plombite de sodium).

Digitized by Google

M. SARROT DU BELLAY signale qu'on aurait prouvé aux États-Unis que l'obstacle à l'emploi de la soude ordinaire, pour la fabrication de la soie artificielle, résidait non pas dans la présence du chlore résiduel, mais dans celle du fer provenant des appareils de concentration.

5e SECTION
TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

Président : M. REYNAUD-BONIN.

SÉANCE DU 20 JANVIER 1928. — M. DEMOGUE, Ingénieur des P. T. T., présente à la Section l'analyse d'un article de M. MILON, Directeur de l'Exploitation téléphonique des P. T. T., sur *l'adaptation du réseau téléphonique français au service téléphonique universel.*

L'auteur commence par donner une définition du service universel qui consiste à pouvoir téléphoner entre deux postes quelconques placés à la surface du globe. Mais avant de le réaliser sur la surface du globe, il faut le réaliser à l'intérieur de chaque pays.

Dans les cinq premières pages, l'auteur donne un exposé complet des raisons pour lesquelles le service universel n'a pu être réalisé jusqu'ici en France et pourquoi il est possible de l'envisager actuellement.

Il ne faut pas perdre de vue que les recettes supplémentaires à attendre de l'adaptation du réseau au service universel seront très faibles ; le nombre de communications qui seront échangées par exemple entre Tulette dans la Drôme et Trémorel dans les Côtes-du-Nord, sera évidemment très faible. L'établissement du service universel sera plutôt une conséquence du programme général d'amélioration du réseau poursuivi méthodiquement depuis 1921.

En effet, citons quelques exemples :

1° Une communication à longue distance, par exemple Tulette-Trémorel emprunte, d'une part, des grands circuits tels que Paris-Lyon, Paris-Saint-Brieuc et d'autre part, des petits circuits Saint-Brieuc-Loudéac, Loudéac-Plumet, etc... Or, jusqu'à ces dernières années, les grands circuits étaient encombrés; si l'attente sur ces grands circuits était de trois heures et plus, à plus forte raison, l'attente de l'abonné de Tulette devenait telle que la communication était irréalisable.

La réalisation d'un réseau de câbles souterrains à grande distance et surtout à grande capacité, a permis de réduire cette attente et d'envisager comme réalisables des communications entre villages éloignés.

Digitized by Google

2° Prenons la diminution du nombre des opératrices intervenant dans la communication. Il est clair que moins il y a d'opératrices, plus la communication Tulette-Trémorel devient facile.

Cependant, ce n'est que pour établir le Service Universel qu'on a diminué le nombre des opératrices jusqu'à le réduire de 1 par bureau. C'est pour augmenter la qualité du Service sur les communications actuellement échangées de ville en ville.

3° On envisage l'adoption de l'automatique rural ; mais la principale raison de son adoption, c'est de permettre d'étendre les heures d'ouverture des petits bureaux et même d'établir le Service permanent de jour et de nuit pour tous les abonnés, même ceux des villages les plus éloignés. Mais ainsi, les communications à longue distance seront facilitées, parce qu'on pourra les demander à des heures où l'attente est moins longue sur les grands circuits.

Dans une deuxième partie, l'auteur examine ce qu'il reste à faire pour organiser le réseau des lignes téléphoniques du seul point de vue de la qualité de transmission. Il rappelle d'abord la définition de l'équivalent de transmission d'un circuit basée sur la comparaison avec un circuit étalon qui se trouve au Laboratoire des P. T. T. L'équivalent de transmission est le nombre d'unités de lignes artificielles qu'il faut introduire dans le circuit étalon pour que les deux circuits comparés donnent le même volume de son à l'extrémité réceptrice. Le Comité Consultatif International des lignes à longue distance a admis dernièrement que dans une communication internationale, l'équivalent de transmission ne doit pas dépasser 3,3.

Admettons cette valeur pour le réseau français et voyons comment il doit être réparti entre les différents éléments du réseau. Nous ferons l'hypothèse que les équivalents de transmission s'ajoutent. M. Milon indique que l'on constate pratiquement que, pour un grand circuit, il est difficile de maintenir l'équivalent de transmission à moins de 1,3 ; pour une exploitation commerciale, on s'imposera, 1,3 comme limite maxima de l'équivalent d'un grand circuit. Si nous considérons deux abonnés reliés par un seul grand circuit, il suffira que tous les éléments de ligne extrême comprenant le poste d'abonné aient 1 au plus pour équivalent de transmission.

Si nous considérons maintenant deux abonnés reliés par l'intermédiaire de deux grands circuits, il faudra nous arranger pour que l'affaiblissement des deux grands circuits soit ramené à 1,3. On y parvient en employant des amplificateurs sur cordon placés dans le bureau, où

Digitized by Google

aboutissent les deux grands circuits. L'expérience montre que le résultat est aisé à obtenir pourvu que les circuits soient homogènes et pourvu qu'ils aient une longueur suffisante (150 à 200 kW).

On appellera centre de transit un bureau où se trouve des amplifications sur cordon, par exemple, Paris-Lyon.

Un bureau comme Saint-Brieuc où aboutit un grand circuit, mais où il n'y aura pas d'amplificateurs, s'appellera centre de distribution.

Conclusion. — Il faudra un affaiblissement de 1,3 pour l'ensemble des circuits utilisés, et de 1 entre chaque abonné et son centre de distribution.

Reste à répartir l'équivalent de 1 entre l'abonné et son centre de distribution. Si l'abonné est en ville, c'est facile, sauf pour Paris à cause de la grande longueur des câbles ; pour Paris, il faudra avoir recours à quelques câbles pupinisés entre certains bureaux.

Si l'abonné est dans la campagne, le problème est plus délicat à cause du grand nombre de petits bureaux et surtout du grand nombre d'opératrices qui, pouvant se tenir en dérivation sur le circuit, affaiblissent la conversation. Cet inconvénient est évité par l'adoption de l'automatique rural. On espère que l'affaiblissement apporté par ces petits tableaux automatiques ne dépassera pas 0,05 par bureau en supprimant, bien entendu, les bobines de combinaison ou d'appropriation dont l'affaiblissement est de 0,08.

Mais l'adoption de l'automatique n'est admissible que si son prix de revient n'est pas excessif et surtout s'il s'adapte rigoureusement au réseau de lignes existant. L'administration envisage des zones d'étendue variable d'au moins 200 abonnés desservis par un bureau manuel seul pourvu d'opératrices. Le trafic de ce bureau doit être tel qu'il justifie l'existence d'un service permanent dans un délai plus ou moins grand. Au bureau, tous les abonnés des villages environnants seront reliés par des centres automatiques ; chaque abonné appellera le centre automatique dont il dépend, lequel appellera le bureau manuel, soit directement, soit par l'intermédiaire d'autres centres automatiques. Ainsi l'abonné de Trémorel appellera son centre qui commandera le centre de Merdrignac, lequel commandera celui de Plumet, lequel commandera l'appel du bureau manuel de Loudéac.

Cette cascade d'opérations automatiques a pour but de ne pas construire, entre tous les villages et le bureau manuel des circuits qui n'auraient qu'un rendement dérisoire. Le problème posé aux constructeurs

Digitized by Google

est assez difficile, car il faut construire des appareils peu coûteux et se contenter entre chacun des tableaux automatiques de 2 fils existants alors que dans un bureau automatique on peut, sans inconvénient, poser 3 ou 4 fils pour faciliter la commande des appareils les uns par les autres.

Ce problème serait actuellement résolu par certains constructeurs, de sorte que rien, théoriquement, n'empêche plus d'envisager la réalisation du service universel.

M. MILON donne ensuite un aperçu sur l'ensemble de l'organisation du réseau divisé en zones dépendant d'un centre de distribution, puis en zones secondaires dépendant d'un centre manuel ; on maintiendra des postes à batteries locales dans les petits réseaux, l'efficacité du poste étant 0,6 en plus à la transmission à Tulette par exemple et 0,4 en moins à Trémorel, le gain est de 0,2. On peut donc admettre que l'équivalent de 1 doit être obtenu entre le centre de distribution et le centre dont dépend l'abonné.

Il indique que la plupart des communications ne devront utiliser qu'un seul centre de transit. Le nombre de communications nécessitant 2 centres de transit sera très faible (5 pour cent du total), de sorte que les pertes de temps sur les grands circuits dues à la manœuvre des amplificateurs sur cordon seront négligeables.

Enfin l'article se termine par un exemple concret sur le département de la Drôme et l'auteur exprime le souhait que le Parlement veuille bien continuer encore quelques années l'effort financier amorcé il y a quatre ans pour améliorer le téléphone en France.

M. DUNAND, Ingénieur à la Société d'Etudes pour liaisons télégraphiques et téléphoniques à longue distance, présente une communication sur *les procédés de mesure dans la téléphonie à longue distance et le fréquencemètre.*

La mesure précise et rapide de fréquences audibles présente un grand intérêt pour la technique téléphonique et plus particulièrement dans le cas des câbles à longue distance.

L'impédance des circuits téléphoniques, leur constante de propagation, les propriétés électriques des relais amplificateurs sont des quantités qui peuvent présenter des variations très rapides en fonction de la fréquence et leur connaissance exacte nécessite un grand nombre de mesures effectuées avec des courants de fréquences très rapprochées et parfaitement connues.

Digitized by Google

Certaines de ces mesures imposent l'emploi simultané en des points différents de plusieurs générateurs de courant, ou celui d'un même générateur à des époques différentes, il importe que la fréquence du courant utilisé puisse être repérée de façon sûre et ramenée exactement à la même valeur pour les différents postes d'essais si l'on veut éviter des erreurs importantes, d'autant plus que la fréquence de la plupart des générateurs utilisés n'a pas une stabilité absolue.

L'emploi de fréquencemètres précis et fidèles est donc nécessaire à la bonne marche des mesures en courant alternatif de fréquences audibles ; de plus, le grand nombre de mesures que l'on doit effectuer pour établir la variation des phénomènes étudiés en fonction de la fréquence exige que l'appareil utilisé permette de connaître rapidement la valeur de cette dernière sans réglages ni calculs compliqués.

La plupart des montages employés pour la mesure des fréquences audibles sont constitués par des réseaux à pont dont les conditions d'équilibre sont essentiellement fonctions de la fréquence, et par suite, ils comprendront nécessairement des grandeurs électriques qui font intervenir la fréquence dans l'expression de leur impédance : telles sont la capacité électrostatique, la self inductance et la mutuelle inductance.

Un tel appareil fera donc intervenir au moins un de ces types de grandeurs électriques combiné avec des résistances appropriées.

On peut classer les différents montages utilisés pour la mesure des fréquences audibles en trois groupes :

1° Les fréquencemètres comprenant à la fois des capacités et des inductances qui décèlent la fréquence en utilisant le phénomène de résonance.

2° Les fréquencemètres ne faisant intervenir que des capacités et des résistances.

3° Les fréquencemètres utilisant uniquement des inductances et des résistances.

1° *Les fréquencemètres utilisant le phénomène de résonance.* — Dans ces appareils, la fréquence du courant de mesure est déterminée par une équation de la forme :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

où L et C désignent respectivement la valeur de l'inductance de la capacité au moment de l'équilibre.

Digitized by Google

Dans ce groupe entre le pont à résonance, représenté sur la figure 1.

La recherche de l'équilibre se fera en général en réglant la capacité C et en ajustant les résistances.

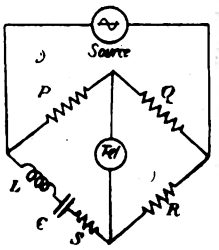


Fig. 1. — Pont à résonance.

Une mesure de fréquence avec cet appareil nécessitera donc deux réglages et un calcul assez compliqué de f. De plus, l'emploi d'un condensateur variable présente deux gros inconvénients. Un tel appareil est d'un prix élevé et il est relativement peu précis.

Si, au contraire, on fait varier L, non seulement on se heurte à des difficultés d'étalonnage de la self inductance, mais on s'aperçoit de plus que le domaine de fréquences que l'on peut explorer est relativement restreint.

D'autres inconvénients, qui s'appliquent également à tous les fréquencemètres de ce groupe, font que l'emploi de ces appareils a été presque complètement abandonné pour la mesure des fréquences audibles ; ces inconvénients sont les suivants :

1° Il est difficile de réaliser des condensateurs ayant des valeurs parfaitement stables et dont la variation soit faible en fonction de la fréquence et de la température.

2° Il est nécessaire d'employer dans ces appareils des inductances de valeurs élevées et l'on sait que les causes d'erreur dues aux capacités d'enroulement s'y font particulièrement sentir.

3° Ces montages nécessitent toujours deux réglages du fait qu'il faut compenser la perte des condensateurs, dont la valeur varie avec la fréquence.

Parmi les fréquencemètres se rattachant à ce groupe, nous citerons également :

Le pont-filtre décrit par Campbell en 1910 et le pont de Kenelly et Velanders.

2° *Deuxième groupe.* — Les fréquecemètres du deuxième groupe

Digitized by Google

qui utilisent des résistances et des capacités dérivent tous du pont de Wien pour la comparaison de 2 condensateurs.

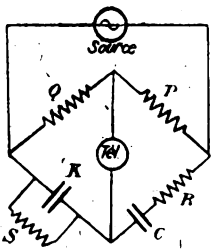


Fig. 2. — Pont de Wien.

Le schéma de cet appareil est représenté sur la figure 2.

Les équations d'équilibre d'un tel montage sont les suivantes :

1° $$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{RSKC}}$$

et

2° $$\frac{K}{C} = \frac{P}{Q} - \frac{R}{S}.$$

Pour un fréquencemètre de ce genre, il sera avantageux de laisser les capacités C et K fixes et égales entre elles.

Si de plus, on choisit le rapport P/Q de la tête de pont égal à 2, on voit que la deuxième équation d'équilibre impose la condition

$$\text{résistance R} = \text{résistance S}.$$

Pour réaliser automatiquement cette condition, il suffira de commander les deux résistances R et S simultanément au moyen de commutateurs doubles. La première équation d'équilibre nous donne alors

$$f = \frac{K}{R}.$$

Robinson a montré qu'en donnant à R des valeurs convenables, on peut graduer directement l'appareil en fréquence ; mais ces valeurs ne sont pas simples et par suite, les résistances sont d'un étalonnage délicat.

Enfin, les inconvénients signalés plus haut au sujet de l'emploi des condensateurs se retrouvent encore ici, pour limiter la précision des lectures effectuées avec cet appareil.

De plus, la perte des condensateurs crée ici une cause d'erreurs supplémentaires, car elle vient s'ajouter aux valeurs des résistances R et S.

3° *Troisième groupe.* — Dans un troisième groupe, nous avons classé

Digitized by Google

les fréquencemètres utilisant uniquement des inductances et des résistances.

Ces appareils ont tout d'abord l'avantage d'éviter les imperfections signalées au sujet des condensateurs.

Ils ont aussi l'intérêt d'utiliser des inductances de valeurs relativement faibles, ce qui réduit les perturbations introduites par les capacités d'enroulement ; ils permettent facilement la lecture directe de la fréquence et le domaine qu'ils permettent d'explorer est très étendu.

A ce groupe se rattachent le fréquencemètre à lecture directe de A. CAMPBELL et celui de la Société d'Etudes pour liaisons téléphoniques.

Le fréquencemètre de A. CAMPBELL est représenté schématiquement sur la figure 3.

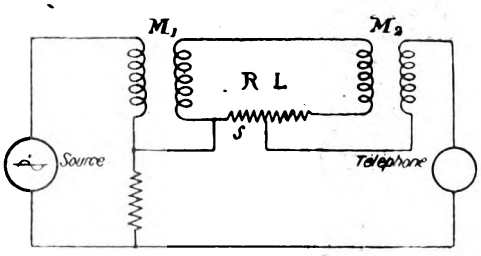


Fig. 3. — Fréquencemètre de Campbell.

Les équations d'équilibre sont les suivantes :

$$\begin{cases} f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{Rr}}{\sqrt{M_1 M_2}}, \\ M_1 s = Lr, \end{cases}$$

M_1, r et L étant fixés, on donne à s une valeur telle que la deuxième équation soit vérifiée. Si de plus, on se fixe R et r en laissant M_2 variable, la fréquence sera définie par l'équation :

$$f = \frac{K}{\sqrt{M_2}}.$$

Il suffira de graduer la mutuelle variable M_2 en fréquences pour avoir un appareil à lecture directe.

L'étendue de l'échelle de fréquences ainsi mesurée est faible 700 à 1 500, mais le coefficient K comprenant R, il suffira de donner à cette quantité les valeurs double, triple ou moitié qui permettront de mesurer des fréquences allant de 180 à 4 000 périodes par seconde.

Le même appareil peut évidemment être gradué en pulsations.

Digitized by Google

Il permet des lectures avec une précision de $\frac{1}{1000}$ près ; cette précision correspond à 1/4 mm de la graduation, quelle que soit la fréquence lue, ce qui rend la lecture délicate.

Il serait avantageux que la fréquence soit déterminée par une grandeur variant proportionnellement à la fréquence et qui puisse être facilement subdivisée en décades.

La fréquence serait donnée alors de façon très simple en relevant les chiffres marqués par les différents décades de l'appareil.

C'est ce qu'on a cherché à réaliser dans le fréquencemètre de la S. E. L. T.

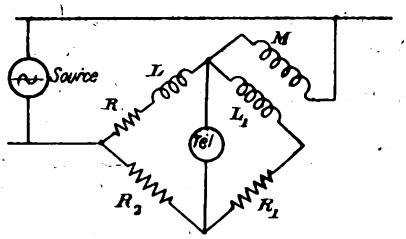


Fig. 4. — Fréquencemètre S.E.L.T.

En utilisant les notations de la figure 4, les conditions d'équilibre de l'appareil s'écrivent :

$$\text{I)} \quad \begin{cases} R \times R_1 = L \times L_1 - M)\omega^2, \\ R_2 \times M = R_1 L + R \times (L_1 - M). \end{cases}$$

Si l'on s'arrange pour que les conditions suivantes soient réalisées par constructions :

$$a) \quad 2M = L_1 = 2L.$$

$$b) \quad R_1 = R,$$

les relations (1) s'écrivent :

$$\text{II)} \quad \begin{cases} \omega L = R, \\ R_2 = 2R. \end{cases}$$

Les deux selfs inductances et la mutuelle sont choisies par construction, de façon à satisfaire aux relations *a*, et maintenues invariables. L'équilibre du pont s'obtient alors en agissant seulement sur les résistances.

On peut réduire les paramètres d'équilibre à un seul en commandant les trois résistances R, R_1, R_2 par un seul commutateur, disposé de telle façon que l'on ait à chaque instant :

$$\frac{1}{2} R_2 = R_1 = R.$$

Digitized by Google

La recherche de l'équilibre se réduit alors à une seule manœuvre ; quand celui-ci est atteint, on a :

$$\omega = \frac{R}{L}.$$

On donnera, bien entendu à L, une valeur telle que :

$$L = 10^{-n} \text{ Henrys},$$

n étant un nombre entier ; la valeur de la pulsation se déduira immédiatement de la lecture de R.

Il y a lieu d'indiquer une cause d'erreur qui intervient dans les fréquencemètres de ce dernier type : la résistance de bobines de self constituées par du cuivre varie avec la température et la mesure de la fréquence peut être faussée de ce fait, mais la variation de résistance du cuivre avec la température pouvant être facilement déterminée, la correction peut être facilement effectuée ou l'erreur compensée au moyen d'un dispositif spécial.

Digitized by Google

TRAVAUX DES GROUPES

GROUPE DU SUD-EST

Le champ des radiations électromagnétiques. — Conférence de M. G. Déjardin, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (1).

L'étude des radiations est devenue la partie la plus importante et la plus séduisante de la Physique moderne. Indépendamment des résultats pratiques qu'on peut en attendre, relatifs à la technique de l'éclairage, à la production des ondes hertziennes et des rayons X, cette étude se rattache étroitement au problème de la constitution de la matière et à la révision indispensable des principes fondamentaux à partir desquels la Science s'est développée.

Pour interpréter simplement les phénomènes de l'optique classique (interférences, diffraction, etc.), il suffit d'attribuer à la lumière certains caractères essentiels (complexité du rayonnement et identification des radiations monochromatiques, constitution périodique de chaque radiation définie numériquement par sa fréquence ou sa longueur d'onde, transport d'énergie effectué par tout faisceau lumineux), qui ont été successivement dégagés en expérimentant tout d'abord sur les radiations qui impressionnent notre œil. Mais la limitation du spectre visible est purement physiologique : différents récepteurs substitués à l'œil ont permis d'explorer un immense domaine de radiations, depuis les grandes ondes de la télégraphie sans fil jusqu'aux rayons X et γ.

Les longueurs d'onde des radiations visibles sont comprises entre 0,8 μ ou 8 000 A (rouge sombre) et 0,4 μ ou 4 000 A (violet extrême). Dans la région infra-rouge (longueurs d'onde supérieures à 8 000 A), on a utilisé surtout le récepteur calorifique (pile thermoélectrique, bolomètre, etc.) qui mesure directement, après transformation en chaleur, le flux d'énergie rayonnante tombant sur sa surface. Grâce à des perfectionnements successifs, on a pu reconnaître et étudier des ondes de plus en plus longues, jusqu'à 420 μ (arc au mercure en quartz). Mais pour dépasser cette limite, il faut changer le mode de

(1) Conférence faite devant le Groupe du Sud-Est de la Société le 25 janvier 1928.

Digitized by Google

production du rayonnement. Au moyen de courants électriques de haute fréquence (oscillateur de Hertz, lampes à plusieurs électrodes, alternateurs avec multiplicateur de fréquence), on obtient les ondes hertziennes, dont les longueurs s'échelonnent entre une fraction de millimètre (82 μ dans certaines expériences) et quelques dizaines de kilomètres. Le raccordement entre l'infra-rouge optique et les ondes électriques a été réalisé récemment (Nichols et Tear, Glagolewa Arkadiewa).

A partir de l'autre extrémité du spectre visible, les radiations ultra-violettes, de longueurs d'onde inférieures à 4 000 A, ont été examinées principalement au moyen de la plaque photographique. Ce récepteur est d'ailleurs si commode qu'il tend à remplacer complètement l'œil pour l'étude des radiations visibles; il permet même de pénétrer légèrement dans l'infra-rouge (plaques panchromatiques). L'exploration du spectre ultra-violet, à l'aide du spectrographe à optique de quartz, ne présente aucune difficulté jusque vers 2 000 A. Pour dépasser commodément cette limite, il faut tenir compte de l'absorption par le quartz, par l'oxygène de l'air et par la gélatine de l'émulsion photographique (Schumann, Lyman, Millikan). Au moyen du spectrographe à réseau concave monté dans le vide, on a pu reculer la limite de l'ultra-violet jusqu'au voisinage de 100 A.

Des radiations encore mal connues, mais dont l'existence est parfaitement démontrée, établissent la liaison entre l'extrême ultra-violet et les rayons X. Les longueurs d'onde de ces derniers s'échelonnent entre quelques dizaines et quelques centièmes d'angström. Pour analyser ces ondes extrêmement ténues, on utilise le réseau moléculaire naturel des cristaux. Toutefois, on a reconnu récemment que les rayons X possèdent effectivement les propriétés générales des radiations (réflexion, réfraction) et que les procédés ordinaires de l'optique leur sont applicables. On a mesuré, pour ces rayons, l'indice de nombreuses substances par les méthodes classiques du prisme et de la réflexion totale. On a réussi à les analyser au moyen du réseau ordinaire par réflexion et même à obtenir, à l'aide du prisme, un véritable spectre de dispersion. Au delà des rayons X, se placent les rayons γ des corps radioactifs, dont la longueur d'onde est de l'ordre du centième d'angström, prolongés peut-être à leur tour par des radiations encore plus pénétrantes.

Entre les frontières qui viennent d'être indiquées, l'immense domaine des radiations a été exploré et ne présente aucune lacune.

Digitized by Google

L'extension progressive de ce vaste champ, en rapprochant des phénomènes en apparence très différents, constitue certainement l'une des plus magnifiques conquêtes de la Physique moderne. Et cependant, nous ignorons encore la nature même du rayonnement, ou plutôt nous n'avons pas réussi, jusqu'à présent, à imaginer un ensemble unique et cohérent d'hypothèses permettant d'expliquer tous les faits connus.

Les théories de la lumière se ramènent à deux types distincts, correspondant aux deux grandes tendances de l'esprit humain. Dans les théories « continues » ou théories ondulatoires, chaque radiation est envisagée comme un phénomène périodique continu dans le temps et dans l'espace (éther). Sous sa forme la plus parfaite (théorie électromagnétique), la théorie des ondulations interprète exactement les phénomènes de l'optique classique (interférences, diffraction, polarisation) sans rester muette, comme la théorie de l'éther élastique, sur les rapports entre l'électricité et l'optique.

D'importants phénomènes restent cependant en dehors du cadre de la théorie électromagnétique. Leur existence a provoqué un retour aux hypothèses « discontinues », défendues autrefois, sous une forme primitive, par Newton (théorie corpusculaire de l'émission). Le développement de nos connaissances sur le rayonnement du corps noir, sur l'émission spectrale, l'étude de l'effet photoélectrique, la découverte de l'effet Compton (changement de longueur d'onde par diffusion) ont apporté les preuves décisives de l'insuffisance de la mécanique classique, et aussi d'une structure discontinue des radiations. A cet égard, la conception la plus hardie est celle d'Einstein (théorie des quanta de lumière), qui postule pour l'énergie rayonnante une constitution granulaire et se pose ainsi en contradiction absolue avec l'optique des interférences et de la diffraction. Son champ d'action est d'ailleurs assez limité. Pour élargir le cadre des explications fondées sur la théorie des quanta, il a fallu essayer de rétablir la liaison avec la théorie classique (principe de correspondance de Bohr). Mais, en réalité, il existe un désaccord absolu entre les deux doctrines, et il importe de remanier à la fois la dynamique du point matériel et l'optique classique électromagnétique. C'est le but poursuivi par la nouvelle mécanique ondulatoire (Schrödinger et L. de Broglie) dont le développement permettra sans doute à la Physique des radiations de sortir de l'impasse où elle est actuellement engagée.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ [1]

Production et utilisation mécanique de l'électricité

— **Contribution à l'étude de la commutation dans les machines à courant continu** par César Parteni-Antoni, Maître de Conférences à l'Université de Jassy (Publication n° 10 de l'Institut National Roumain pour l'étude de l'aménagement et de l'utilisation des sources d'énergie). — Bucarest, 1928; une brochure 23cm × 15cm, de 26 pages, avec 2 figures. (Don de M. Budeanu).

Transmission et distribution générale de l'électricité. Canalisations. Appareillage général.

— **Overhead Systems Reference Book**. Prepared by a special Committee of the Overhead systems Committee Engineering National section National Electric Light Association. — Published by the National Electric Light Association, New-York City, 1927; un vol. relié toile souple, de VI-572 pages, avec 668 figures. [Prix : 7 dollars, 50 cents]. (Don de la National Electric Light Association).

— **Twenty Years'Practice in Rural Electrification. Investigations and Opinions**, by Alfred Ekström, D. sc. — Stockholm, Victor Pettersons, 1926; un vol. broché 28cm × 22cm, de 73 pages, avec 103 figures. (Don de l'auteur).

Télégraphie et Téléphonie.

— **Circuits de transmission pour communications téléphoniques.** Procédés d'étude et de détermination, par K. S. Johnson, Membre du personnel technique des *Bell Telephone Laboratories Inc.* — Traduit de l'anglais sous la direction de E. M. Deloraine. Préface de M. L. Drouet, Inspecteur général des Postes et Télégraphes, Directeur du service d'Études et de Recherches techniques. — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1928; un vol. relié toile 23cm × 15cm, de IX-348 pages, avec nombreuses figures dans le texte. (Don de la société « Le Matériel Téléphonique »).

— **Theorie van het Electro-magnetische Telefoonrelais**, door Willem Theodoor Bahler. (Thèse de doctorat ès sciences techniques) — Delft, J. Waltmann Jr, 1926; un vol. broché 24cm × 16cm, de XIV-221 pages, avec 28 figures. (Don de l'Ecole technique supérieure de Delft).

— **Il contributo dato dalla R. Marina allo sviluppo della Radiotelegraphia**, par Ernesto Simion, Ammiraglio di Squadra A. R. Q. — Roma, Edito a cura dell'Ufficio storico della R. Marina, 1927; un vol. broché 24cm × 17cm, de 105 pages, avec 20 fig. et 1 carte hors texte. (Don du ministère de la marine italienne).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

CONGRÈS. — EXPOSITIONS. — SOCIÉTÉS. — SYNDICATS. — ANNUAIRES
ACTES OFFICIELS. — COMMÉMORATIONS, ETC...

— **Acta Academiae Aboensis mathematica et physica. IV.** — Abo Akademi, 1927; un vol broché $24^{cm} \times 13^{cm}$, de 209 pages, avec fig. et planches hors texte. (Don de l'Académie d'Abo).

— **L'Association amicale des Ingénieurs I. E. N.**, anciens élèves de l'Institut d'Electrotechnique et de Mécanique appliquée de Nancy, *A la Mémoire de leur président d'honneur Henri Vogt (1864-1927)*. — Nancy, Impr. M. Colin, 1927; une brochure $22^{cm} \times 13^{cm}$, de 31 pages. avec 4 planches hors texte. (Don de l'Assoc. amicale des Ingénieurs I. E. N.).

— **La vie dans les usines américaines.** Extrait d'une conférence faite à la Société des Ingénieurs A. M. par M. Jean MONGON, Ing. A. M. et E. S. E. — Paris, Revue *Arts et Métiers*, 1927 : une brochure $27^{cm} \times 22^{cm}$, de 15 avec une carte. (Don de l'auteur).

TECHNOLOGIE.

— **Les Ultra-Pressions de 25 000 kilogs par centimètre carré et leurs applications scientifiques et industrielles**, par James BASSET. — Paris chez l'auteur, 7, rue Yvon-Villarceau ; une brochure $24^{cm} \times 14^{cm}$, de 14 pages, avec 6 fig. (Don de l'auteur).

— **L'industrie du verre de silice en France**. par Henri GEORGE, Directeur de la Société quartz et silice. — Paris, *Revue générale de l'Electricité*. 1927; une brochure $27^{cm} \times 22^{cm}$, de 20 pages, avec 32 fig. (Don de l'auteur).

PHYSIQUE.

— **Eléments de Thermodynamique**, par Charles FABRY, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne. Un vol. in-16, 39 figures. (Collection Armand Colin, 103, Boulevard Saint-Michel, Paris.) Relié, 10 fr. 25 ; broché, 9 fr. (Don de l'éditeur).

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité.

Les machines électriques industrielles, *principe, fonctionnement, divers types, montage, pannes*. par R. Bardin, Ingénieur Electricien (E S.M.E.). 1 vol. in-8 br. de 80 pages avec 65 fig. (Prix : 8 fr ; franco par la poste : France 8 fr. 75. Etranger 10 fr.) Desforges, Girardot et Cie, Editeurs, 27 et 29. Quai des Grands-Augustins, Paris (6e). (Don des Editeurs).

Cet ouvrage, sans prétention scientifique, a pour but l'étude pratique des diverses machines électriques industrielles : dynamos et moteurs à courant continu ; alternateurs et moteurs à courant alternatif ; transformateurs fixes et rotatifs.

Chaque machine est étudiée dans ses différents types au point de vue principe, fonctionnement, montage électrique dans ses différents cas d'utilisation, mise en marche et entretien.

De nombreux schémas de fonctionnement et de montage permettent l'étude facile des phénomènes électriques que l'on rencontre dans la conception et l'application de ces machines.

Cet ouvrage résume donc, sous une forme condensée, mais complète, les notions pratiques que tout électricien et tout usager de machines électriques doivent posséder, pour assurer la bonne marche et une conduite rationnelle de leurs installations.

Physique.

Éléments de Thermodynamique, par Charles Fabry, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne. Un vol in-16 39 figures (Collection Armand Colin, 103 Boulevard Saint-Michel, Paris). (Prix : relié 10 fr. 25 , broché 9 fr.). (Don de l'éditeur).

La thermodynamique, cette belle synthèse qui domine les lois de toutes les sciences physico-chimiques, est souvent mal comprise des débutants. Souvent, ceux-ci sont d'abord surpris par la généralité des raisonnements, et ils se perdent ensuite dans le détail des formules particulières dont le lien avec les principes ne leur apparaît pas clairement.

En publiant ce petit livre, résumé des leçons qu'il a professées à la Sorbonne et à l'Ecole polytechnique, l'auteur a voulu fournir, à ceux qui étudient la thermodynamique pour la première fois, un exposé débarrassé de toute complication inutile ; il s'est efforcé de maintenir aussi étroit que possible le lien entre l'abstrait et le concret entre le général et le particulier.

Les futurs ingénieurs y trouveront un exposé des principes sur lesquels doit être basée l'étude des moteurs thermiques, une théorie des diagrammes qu'ils auront à employer, un exposé des propriétés des fluides qui évoluent dans ces moteurs. Les personnes qui veulent étudier les équilibres chimiques trouveront dans ce livre un exposé des principes qui régissent tous les équilibres, avec quelques exemples pour rendre plus clair l'exposé théorique. Les futurs hommes de science et les futurs ingénieurs trouveront là une base solide pour leurs études ultérieures.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 2 février 1898.

Présidence de M. PELLAT, *vice-président.*

M. Edouard BRANLY présente au sujet de la précédente communication de M. VOISENAT, quelques rectifications relatives à la portée de ses premières recherches sur les radioconducteurs, et à leur influence effective sur le développement par MARCONI de la télégraphie sans fil.

M. BOUCHEROT décrit ensuite un type de condensateur au papier paraffiné convenant pour les fréquences industrielles et des tensions de l'ordre de 1 000 V. Dans ce domaine, l'échauffement paraît dépendre très peu des pertes diélectriques et presque exclusivement de la conductibilité de l'isolant; celle-ci est fonction de la température, c'est-à-dire de l'échauffement d'une part, et des formes de l'appareil d'autre part, ce qui amène l'auteur à présenter, pour le calcul de la tension limite de service, une théorie qui coïncide déjà dans son principe, avec celles que Dreyfus et Rogowsky devaient reprendre environ vingt-cinq ans plus tard.

Le prix de ces condensateurs pour 3 000 V à 50 p : s ressortait à environ 80 francs le kilovolt-ampère.

M. BOUCHEROT rappelle ensuite les schémas célèbres qu'il a imaginés en 1894 et qui utilise des systèmes résonants d'inductances et de capacités, pour la conversion d'une tension constante en un courant constant : et il montre l'application qui peut en être faite avec l'aide des nouveaux condensateurs à l'éclairage par lampes en série.

Une autre application des condensateurs industriels consiste dans l'autoexcitation d'alternateurs sans collecteur, ni source à courant continu. Une première forme, un stator et un rotor polyphasés connectés en série ou en parallèle mais avec un ordre de succession des phases inverses. de sorte que la rotation d'un champ tournant à une vitesse angulaire moitié de celle du rotor développe dans les deux enroulements de chaque phase des tensions de même fréquence. La saturation du circuit magnétique assure la stabilité, et la tension peut

Digitized by Google

être réglée par la valeur de la capacité branchée aux bornes de l'alternateur.

Une deuxième forme où le rotor tourne à la fréquence des courants induits, utilise un rotor massif à pôles saillants déterminant, comme dans la théorie des deux réactions longitudinale et transversale des alternateurs, une self-induction variable des phases de l'induit.

Les modes de connexion des capacités peuvent assurer comme en courant continu, des caractéristiques série, shunt ou compound.

L'Imprimeur-Editeur : Etienne Chiron, Paris.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du Samedi 3 Mars 1928, p. 219.

Admissions des membres titulaires, p. 219.

Dons à l'Ecole Supérieure d'Electricité, p. 223.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Les essais téléphonométriques des appareils d'abonnés (M. CHAVASSE), p. 225.

Discussions de la Semaine d'Octobre 1927 : allocution de M. Charles FABRY, Président de la Société Française des Electriciens, p. 237.

1re *Section.* — Sommaire, p. 238. — Etude analytique sur l'échauffement des machines (MM. ROTH, DEMANY, MAILLOUX, PERRIN, DARRIEUS, BELFILS, EHRMANN, POMEY), p 238 Signification physique de la tension de réactance dans les machines à champ tournant (MM. BELFILS, DARRIEUS), p. 265. — Fonctionnement en régime amorcé d'une génératrice asynchrone isolée (MM. BERGER, DARRIEUS, GIRAULT, BELFILS, de PISTOYE), p. 270. — Forme d'onde de la tension en charge dans les alternateurs (MM. FALLOU, de PISTOYE, BELFILS), p. 275. — Note sur la récente méthode de M. BLONDEL (M. de la GORGE), p. 279. — Discussion : (MM. ROTH et POMEY) p 282.

2e *Section.* — Détermination d'une base scientifique pour la fixation des minima d'éclairement recommandés (MM. LEBLANC, MAISONNEUVE, FOURCAULT, MATHIVET), p. 283. — Mesure pratique d'éblouissement d'une source lumineuse (MM. COUVREUX, LEBLANC, POMEY, MARSAT), p. 287. — Eclairages des studios par lampes à incandescence survoltées. (MM. MATIGOT et ROUX), p. 290.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ELECTRICIENS :

1° Visite de l'usine de Boulogne-sur-Seine, de la Société Le Matériel Téléphonique, p. 296.

2° Célébration au Franklin Institute du cinquantenaire du premier essai de dynamo, p 296.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 297. — Texte, p. 297.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 320.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 321.

IL Y A TRENTE ANS, p. 323.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Digitized by Google

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 3 Mars 1928

Présidence de M. IMBS.

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le Procès verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Aginski (Pinkus), élève à l'E.S.E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Ascar (Michel), ingénieur E.S.M.E., élève à l'E.S.E., 21, rue Saint-Antoine, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Astier (André), agent technique de la Marine au Service technique des Constructions Navales (Ministère de la Marine), 25, boulevard Garibaldi, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Audubert (René), docteur ès sciences, 39, rue de Jussieu, à Paris. — Présenté par MM. Marie et Chaumat.

Azema (Suzanne-Claire), licenciée ès sciences, élève à l'E.S.E., 6 *bis*, Villa des Camélias, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Ballas (Eugène-Emile), chef de travaux au Laboratoire central d'Electricité, 5, avenue du Général-Tripier, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Jouaust.

Baras (Pierre), ingénieur A. et M., élève à l'E. S. E., 235, avenue Daumesnil, à Paris (12e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Barthe (Gaston-Jules-Emile), ingénieur des Arts et Manufactures, directeur de la Manufacture d'accessoires de réseaux souterrains (M.A.R.S.), à Vrignes-aux-Bois (Ardennes). — Présenté par MM. E. Geoffroy et Dumont.

Bautheney (Georges), élève à l'E. S. E., 137, boulevard de l'Hôpital, à Paris (13e). — Présenté par MM. Janet et Guibert.

Becquet (Marcel-Louis), ingénieur-technicien, élève à l'E. S. E., 212, rue Lafayette, à Paris (10e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Berne (Pierre-Louis-Laurent), industriel, ingénieur I. E. G., 27, rue de Créqui, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Berne et Dumont., S. E.

Bertrand (Philippe-Alexandre-Maxime-Xavier), élève à l'E. S. E., 152, avenue Victor-Hugo, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Besse (René-Théodore), ingénieur au Service d'Exploitation de l'Est-Lumière, 12, rue Botzaris, à Paris (19e). — Présenté par MM. Pierron et Jacoby.

Bochet (Adrien-Jean-Charles), élève à l'E. S. E., 11, rue de Porto-Riche, à Meudon (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Boccon-Gibod (François-Georges), élève à l'E. S. E., 22, rue Cambon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Borlet (Pierre-Germain), élève à l'E. S. E., 8, rue Edme-Guillout, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Bounery (Raymond-Auguste), élève à l'E. S. E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Boyreau (André), ingénieur des Arts et Manufactures, fabricant d'appareils d'éclairage de la Maison A. Boyreau et Cie, 1, rue Vilaris, à Bordeaux. — Domicile : 45, rue Lachassaigne, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Chevallier et Ledieu.

Brely (Albert-Casimir-Auguste), ingénieur au service technique de l'Est-Lumière, 31, quai Blanqui, à Alfortville. — Domicile : 6, rue Louis-Besquel, à Vincennes (Seine). — Présenté par MM. Pierron et Jacoby.

Budkiewicz (Marcel), élève à l'E. S. E., 105, rue Manin, à Paris (19e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Caillaux (Gabriel), élève à l'E. S. E., 12, avenue Céline, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Caille (André-Marcel), licencié ès sciences, ingénieur E. S. E., administrateur délégué de la Société Française d'Electrification rurale, 17, avenue Félix-Faure, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Chapard (Marcel-Arthur-Frédéric), élève à l'E. S. E., 15, avenue du Général-Mangin, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Chardin (Jacques-Louis), élève à l'E. S. E., 14, rue Rosa-Bonheur, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Charriou (Jean-Marc), 63 *bis*, rue de la Justice, à Meaux (Seine-et-Marne) — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Chaumel (Yannic-Ernest), ingénieur stagiaire à l'usine des Constructions Electriques de France, à Tarbes (Hautes-Pyrénées), route de Foëcy, à Vierzon-Forges (Cher). — Présenté par MM. Gastine et Lachaise.

Chaybany (Fathollat), étudiant à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 32, boulevard Pasteur, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Cohen (Robert-Jules-Eugène), élève à l'E. S. E., 116, rue de Tocqueville, à Paris (17e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Colibert (Robert-René-Ferdinand), élève à l'E. S. E., 12, avenue de Laumière, à Paris (19e). — Présenté par MM Janet et Guilbert.

Collet (Félix), administrateur des Etablissements Collet Frères et Cie, 45, quai Gailleton, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Rivière.

Delorme (Marcel), élève à l'E. S. E., 48, rue d'Alésia, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Devarenne (Jean-Cyprien), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, élève à l'E. S. E., 103, avenue du Prado, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Duffaut (Achille), élève à l'E. S. E., 4, rue Danton, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Dufour (Arthur-Jean-Baptiste), directeur de la Compagnie des Chemins de fer départementaux de la Haute-Vienne, 23, place du Champ-de-Foire, à Limoges (Haute-Vienne). — Présenté par MM. Boutonnet et L. Rousseau.

Dugue (Paul-Lucien-Joseph), ingénieur I. E. N., ingénieur Société Commerciale des Ateliers de Bordeaux-Bassens, 132, rue de la Trésorerie, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Delasalle et Chevalier.

Faury (René-Jean), élève à l'E. S. E., 5, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Flamand (André-Charles), élève à l'E. S. E., 5, rue Emile-Augier, au Pré Saint-Gervais (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gaulet (Georges-Antoine), élève à l'E. S. E., licencié ès sciences, 146, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gavronsky (Vladimir), élève à l'E. S. E., 186, rue de Rivoli, à Paris (1er). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gentil (Georges-André), élève à l'E. S. E., 29, avenue Trudaine, à Paris (9e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gibon (Gaston-Ernest), ingénieur E. E. M. I., élève à l'E.S.E., 43, boulevard de Versailles, à Suresnes (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Girard (Jean-René-Marie), ingénieur E. S. M. E. et I.E.T., élève à l'E.S.E., 49, rue Bargue, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Goulignac (René-Jean), ingénieur des P. T. T., élève à l'E. S.E., 18 *bis*, rue du Marché, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Grellier (André-Jean-Georges-Raymond), ingénieur électricien-mécanicien (E. E. M. I.), élève à l'E. S. E., 58, boulevard de Picpus, à Paris (12e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Griselin (Louis-François-Marie-Félix), élève à l'E. S. E., 108, rue Denfert-Rochereau, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Grolet (Lucienne-Jeanne), élève à l'E. S. E., 15 *bis*, rue Rousselet, à Paris (7e) — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Guérin (Georges-Pierre), élève à l'E. S. E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Haury (Marc-Félix), élève à l'E. S. E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Héliard (François), élève à l'E. S. E., 5, rue Bérite, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Henry-Couannier (André-Maurice), ingénieur civil des Mines, 63, avenue des Champs-Elysées, à Paris (8e). — Présenté par MM. Geoffroy et Jouvion.

Jaïne (Auguste-Louis-Marie), ingénieur mécanicien de 1re classe à la Marine, élève à l'E. S. E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Josien (Edmond-François), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Kiersnowski (Antoine), élève à l'E. S. E., 159, route de Montrouge, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Kousnetzoff (Alexandre), élève à l'E. S. E., 147, boulevard du Montparnasse, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Labrosse (Georges), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lachat (Louis-Aristide-René), élève à l'E. S. E., 25, rue Jean-Daudin, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lacroix (Simonne), licenciée ès sciences, élève à l'E. S. E., 21, rue Descartes, à Paris (5e). — Présentée par MM. Janet et Guilbert.

Ladreyt (Pierre-Victor-Joseph-Louis), sous-lieutenant de réserve au 184e R. A. L. T., à Saint-Péray (Ardèche). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Laurent-Atthalin (François-Gaston-Marie), élève à l'E. S. E., 11 *bis*, rue de Bellechasse, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lauru (Henry-Pierre), directeur de la Compagnie Française des Tramways électriques et omnibus de Bordeaux, rue du Commandant-Marchand, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Thierry et Delasalle.

Laveran (Marcel-Victor), licencié ès sciences, élève à l'E. S. E., 6, rue Eugène-Besançon, à Bois-Colombes (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Le Chevalier (Michel), élève à l'E. S. E., 10, rue Lavoisier, à Paris (8e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Leriche (André), ingénieur à la Société Européenne Ohio-Brass, 18, rue de Tilsitt, à Paris (17e). — Présenté par MM. Roth et Belfils.

Lerolle (Françoise-Clémence-Henriette), licenciée ès sciences, élève à l'E. S. E., 43, rue Cortambert, à Paris (16e).

Leroux (Adrien-Prosper-René), ingénieur des Arts et Manufactures, élève à l'E. S. E., 33, rue des Bois, à Paris (19e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Letourneur (Hippolyte-Louis), élève à l'E. S. E., 8, rue Edme-Guillout, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lévy (Marcel-Adrien-Elie), élève à l'E. S. E., 12, rue Désiré-Ruggiéri, à Paris (18e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lévy (André), élève à l'E. S. E., 5, rue Couprie, à Montrouge (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Malachane (Marcel), élève ingénieur des P. T. T., élève à l'E. S. E., 1, rue Théophile-Roussel, à Paris (12e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Maroille (Jean-Louis-François), ingénieur E. E. I. P. et I. E. G., élève à l'E.S.E., 14, rue Charles-Nodier, à Paris (18e). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Marteau (Robert-Bernard), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Mees (Herman-Maurice-Félix), élève à l'E. S. E., Maison des Etudiants Belges, 5, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Menard (Yves), élève à l'E. S. E., 11, rue Nicolas-Charlet, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Michel (Jean-Charles), chimiste à la Répression des Fraudes, élève à l'E S. E., 12, chaussée de l'Etang, à Saint-Mandé (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Mollier (Marcel), élève à l'E. S. E., 11 *bis*, avenue de Versailles, à Paris (16e) — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Morin (Paul-Eugène-Jean), élève à l'E. S. E., 196, rue du Château-des-Rentiers, à Paris (13e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Mossin (Frederik), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Neufville (Jean-Marie-Marcel), élève à l'E. S. E., 70, rue Falguière, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Noirclerc (André-Georges-Daniel), chef du laboratoire des Câbles de Lyon, 73, rue Vauban, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Domenach.

Ollier (Jean-Baptiste), élève à l'E. S. E., chez Mme Amberger, 9, rue Raphaël, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Pagnon (Pierre), ingénieur chef du Service technique des Etablissements Merlin et Gérin, 19, boulevard Gambetta, à Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Merlin et Gérin.

Pailleret (Jean-Alphonse-Mario), élève à l'E. S. E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet Guilbert.

Pailly (Robert-Antoine-Jacques-Augustin), élève à l'E S. E., 14, rue de Bagneux, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Pannecière (André-Georges), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Perraud (Georges), ingénieur E. S. E., ingénieur en chef de la Société des Forces Electriques de la Vallée de Gavarnie et des Services Electriques de la Société des Engrais azotés et composés, à Pierrefitte-Nestalas (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et Rousseau.

Poteau (Pierre-Marie), licencié ès sciences, élève à l'E. S. E., 20, rue Lacépède, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Poulverel (Max-Michel-André), élève à l'E. S. E., 29, rue Georges-Sand, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Provinceanu (Mihial), élève à l'E. S. E., 23, boulevard Brune, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Quetel (Maurice-Lucien-Paul), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Redois (Albert-Emmanuel-Jean), licencié ès sciences, élève à l'E. S E., 5, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Rens (Jacques-François-Jean-Adolphe-Louis-Ghislain), élève à l'E. S. E., 5, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Robert (Pierre-Jean-Vincent-de-Paul), lieutenant de vaisseau, électricien à bord du contre torpilleur « Panthère », à Toulon (Var). — Présenté par MM. du Jonchay et Cazenave).

Sauvalle (Xavier-Paul), élève à l'E. S. E., 8, rue Montalivet, à Paris (8e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Schneider (François), capitaine de l'artillerie de l'armée tchécoslovaque, élève à l'E. S. E., Ulice Stavorulruznoku 6, Praha-Dejvice, Prague (Tchécoslovaquie). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Shivapuri (Ratan-Narayan), étudiant au Chemin de fer métropolitain de Paris, 26, rue de la Paroisse, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Le Marois et Le Lidec.

Tellier (Raymond-Louis), élève à l'E. S. E., 36, avenue de la Reine, à Boulogne-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Teszner (Stanislas), ingénieur aux Etablissements Merlin et Gérin, 2, rue Saint-Joseph, à Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Merlin et Gérin.

Traverse (Paul-Joseph), ingénieur chef du Service des Recherches aux Etablissements Merlin et Gérin, 68, cours Berriat, à Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Merlin et Gérin.

Trzeciak (Ladislas-Thomas), capitaine de l'armée Polonaise, délégué à l'E. S. E., 48, rue Desaix, à Houilles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Vaunac (Jean), élève à l'E. S. E., 21, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Véron (Ernest-Maurice-Camille), 127, avenue du Bac, à La Varenne Saint-Hilaire (Seine). — Présenté par MM. Bellemin et Denizot.

Vinet (Raymond-Emile-Ernest), élève à l'E. S. E., 5, rue de Marseille, à Paris (10e). — — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Wojcikowski (Jean-Stanislas), élève à l'E. S. E., 159, route de Montrouge, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la S. F. E.

M. le Président annonce les dons faits à l'Ecole supérieure d'Electricité.

1° par les Etablissements Zivy et Cie d'un tachygraphe portatif Jaquet type B 30/4.000 A d'une valeur de 2.000 francs.

2° par la Cie Continentale des compteurs, de 17 compteurs d'une valeur de 4 315 francs.

Il adresse à ces deux Etablissements les remerciements de la Société.

Il remercie également les donateurs des ouvrages offerts à la Société dont la liste est donnée dans le présent Bulletin.

M. le Président. — Je n'ai pas besoin de vous présenter M. Emanueli, Directeur de la Câblerie de la grande Société italienne Pirelli, et membre du Comité électrotechnique italien.

M. Emanueli a apporté aux questions relatives aux câbles une contribution technique remarquable; auteur notamment d'une méthode ingénieuse de mesure des pertes diélectriques, il a perfectionné d'autre part les boîtes de jonction à isolants reconstitués, et est enfin l'inventeur du type de câble à haute tension, dont il a bien voulu venir nous entretenir aujourd'hui.

M. Emanueli, Directeur de la câblerie Pirelli, présente une communication sur *les lignes en câbles à* 132.000 V *de New-York et de Chicago.*

M. le Président remercie M. Emanueli de sa belle communication dont l'intérêt est attesté par l'attention particulière avec laquelle elle a été suivie.

M. Delon, Directeur technique des câbles de Lyon de la Compagnie générale d'Electricité, présente quelques observations au sujet de la communication de M. Emanueli.

M. Emanueli attire l'attention sur ce que la solution qu'il a décrite, si elle peut ultérieurement apparaître comme non indispensable pour une tension même aussi élevée que 132 kV, doit surtout être considérée comme un point de départ, en ce qu'elle permet notamment

Digitized by Google

d'envisager dès à présent, et sans accroissement important de l'épaisseur de l'isolant, la fabrication de câbles à 220 kV.

M. TOURNIER fait ensuite la description du *pianocanto*, dispositif électrique permettant d'entretenir les vibrations des cordes du piano.

Le piano ainsi transformé permet d'exécuter la musique d'orgue.

Avec le concours de deux de ses collègues, M. TOURNIER termine son intéressant exposé en faisant entendre une mélodie piano et violon, qui permet de se rendre compte des ressources remarquables du nouvel instrument.

M. le Président remercie vivement M. TOURNIER de son très intéressant exposé et remercie également ses deux collaborateurs.

La séance est levée à 19 heures.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

LES ESSAIS TÉLÉPHONOMÉTRIQUES DES APPAREILS D'ABONNÉS [1]

par M. CHAVASSE,

Ingénieur des Télégraphes.

M. VALENSI, ingénieur en chef des télégraphes, a décrit ici même, il y a quelques années (2), la technique des essais qui sont effectués sur les postes téléphoniques d'abonnés dans divers laboratoires et notamment dans ceux du Post Office Britannique et de l'Administration française des postes et des télégraphes ; la nature des essais et les méthodes utilisées n'ont pas sensiblement varié depuis cette époque. Néanmoins, en vue de répondre à certaines objections qui avaient été formulées contre ces méthodes, ont été entreprises dans plusieurs pays des études qui ont permis de préciser la valeur objective du mode opératoire et des schémas utilisés.

On sait qu'un microphone ou récepteur téléphonique peut être examiné sous deux rapports différents : d'une part, *l'efficacité*, c'est-à-dire la propriété qu'a l'appareil de transformer en énergie électrique de l'énergie acoustique ou inversement ; d'autre part, sa *netteté*, qui se rapporte à la qualité de la transformation et qui se traduit pratiquement par la plus ou moins grande fidélité dans la transformation.

Lorsqu'au lieu de considérer individuellement un appareil, on prend un ensemble de deux appareils et des circuits qui les réunissent, il est aisé de retrouver les deux caractères précédents :

a) l'équivalent de transmission de l'ensemble pouvant être défini

(1) Communication présentée à la séance de la 5e Section du 17 février 1928.
(2) Bulletin de la Société Française des Electriciens, 1923, pages 671-698.

Digitized by Google

par le rapport des pressions ou des carrés des pressions des ondes sonores, respectivement mesurées sur les diaphragmes du microphone transmetteur et du téléphone récepteur;

b) la netteté ou intelligibilité de la transmission qu'il est possible de représenter par le rapport du nombre des sons correctement reçus au nombre total des sons transmis.

Ces deux points seront successivement examinés.

1. — Équivalent de transmission.

L'équivalent de transmission d'une liaison téléphonique tel qu'il vient d'être défini, résulte d'une part des qualités transmissives du circuit téléphonique (affaiblissements de natures diverses (1), d'autre part, de *l'efficacité* propre du microphone et du récepteur. Jusqu'ici, cette efficacité propre était définie et mesurée par rapport à des étalons d'ailleurs arbitraires; ces étalons étaient des microphones ou des récepteurs construits avec un soin particulier et d'après des règles spéciales dont l'application permettait, en effet, de reproduire à un moment quelconque un appareil type étalon, ayant par rapport aux autres appareils du même type, une valeur presque exactement prédéterminée.

L'efficacité d'un appareil quelconque par rapport à un étalon, était mesurée par le nombre d'unités d'affaiblissement qu'il était nécessaire d'ajouter ou de retrancher électriquement au circuit de l'étalon pour que les deux systèmes, étant alimentés dans des conditions identiques, soit électriquement pour les récepteurs, soit par des ondes sonores pour des microphones, on recueille aux extrémités réceptrices suivant le cas, soit des sons de même intensité (cas des récepteurs), soit des tensions de même valeur (cas des transmetteurs).

Les équivalents de transmission des deux systèmes comparés étaient alors les mêmes. Le schéma de mesure utilisé pour la comparaison était donc le suivant (cas de l'essai d'un microphone) (fig. 1).

Les commutateurs A ou B sont manœuvrés concurremment avec les commutateurs *a*, *b* pour introduire la ligne artificielle variable dans le circuit de l'étalon ou dans le circuit de l'appareil mesuré quand il est meilleur que l'étalon.

Les lignes artificielles utilisées pour le réglage, au lieu d'être composées de résistances pures, comprennent en réalité des capacités,

(1) Affaiblissement proprement dit; affaiblissement sur impédance-images conjuguées; affaiblissement itératif.

Digitized by Google

parfois même de petites inductances (cas des lignes du type américain). Cela a suscité dans certains cas des controverses assez vives, car on objectait, à juste titre d'ailleurs, que la source de son utilisée pour la mesure étant la voix et, par suite, de composition complexe, l'affaiblissement des lignes artificielles variait d'une fréquence à l'autre et

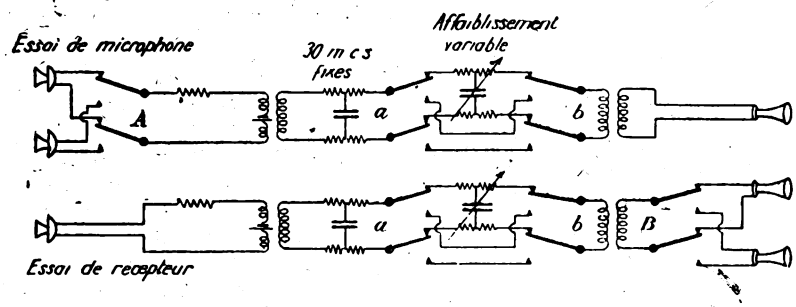


Fig. 1.

qu'on avait en réalité, de ce fait, un très mauvais système de référence.

L'argument, très sérieux dans son principe, perd en pratique beaucoup de sa valeur à cause de la caractéristique de fréquence des récepteurs et des microphones qui présentent des points de résonance (et par suite d'efficacité propre) extrêmement marqués pour une fréquence qui est très sensiblement la même pour tous ces appareils et voisine de 1 000 p : s. Il en résulte que le système microphone téléphone agit comme une sorte de filtre passe bande à bande assez étroite et que la transmission peut être considérée comme monophonique, la fréquence apparente étant de l'ordre de 1 000 p : s. Une étude plus approfondie de la question faite de diverses manières et particulièrement en comparant par des essais « à la voix » des boîtes de miles de câbles étalon et des boîtes d'affaiblissement a confirmé cette manière de voir.

L'objection la plus importante qu'il était possible de faire aux méthodes jusqu'ici utilisées, consistait dans le manque de définition scientifique objective des appareils étalons de comparaison.

Pour y répondre, on a de divers côtés étudié de très près les conditions de fonctionnement des appareils téléphoniques et la conception a prévalu de caractériser leur efficacité par un rapport entre les tensions électriques mesurées aux bornes de ces appareils et les pressions acoustiques correspondantes. L'efficacité d'un microphone étalon s'exprimera donc à chaque fréquence par un certain nombre de volts

Digitized by Google

par barye et celle d'un récepteur par un certain nombre de baryes par volt.

Ces principes étant posés, il s'agissait de trouver des méthodes simples pour effectuer ces mesures. Laissons de côté l'emploi du disque de Rayleigh qui a été expérimenté avec succès par le Post Office Britannique et qui ne mesure pas des pressions mais des vitesses de déplacement d'où il est d'ailleurs possible de remonter aux pressions, et indiquons tout de suite deux méthodes d'une application relativement aisée :

a) La méthode de Gerlach.

b) La méthode du thermophone qui a été retenue pour la constitution du système fondamental de références.

a) *Méthode de Gerlach.*

Dans la méthode de Gerlach, le son produit par une source de bruit alimentée électriquement arrive sur un conducteur peu épais, en forme de ruban, qui est placé dans un champ magnétique uniforme connu. Ce ruban vibre comme le diaphragme d'un microphone électromagnétique, induisant dans un enroulement spécial un courant alternatif que l'on perçoit à l'aide d'un téléphone. Si l'on envoie simultanément à travers le ruban un courant de même fréquence réglable en amplitude et en phase, on pourra obtenir le silence dans le téléphone. La pression acoustique p est alors exactement équilibrée par la force électromagnétique agissant sur le ruban d'après les lois bien connues de l'électromagnétisme. On aura alors la relation suivante :

$$p = \frac{B.I}{s},$$

où B désigne le flux par cm².

I le courant qui traverse le ruban ;

s la largeur de ce ruban.

Cela étant, si dans une chambre de dimensions convenables on place, d'une part le microphone, et d'autre part, l'appareil précédent, on pourra connaître la pression acoustique agissant sur le microphone. La mesure de la tension électrique aux bornes du microphone, permettra d'achever la détermination du rapport

$$\frac{p \text{ dynes}}{v \text{ volts}},$$

qui caractérise l'efficacité du microphone.

Digitized by Google

b) *Méthode du thermophone.*

Le thermophone est un appareil destiné à transformer l'énergie électrique en énergie acoustique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique. Il est essentiellement constitué par une lame extrêmement mince qui, parcourue par un courant alternatif superposé à un courant continu d'intensité beaucoup plus grande, s'échauffe ou se refroidit suivant les alternances du courant, en raison de son peu d'inertie calorifique et communique ses variations de température à l'atmosphère ambiante. Celle-ci se dilatant et se comprimant périodiquement, entre en vibrations et produit un son. L'appareil étant calculable d'avance, permet de produire une onde acoustique de pression connue ; si cette onde vient frapper le diaphragme d'un microphone et si la distance entre le thermophone et le microphone est acoustiquement petite afin qu'il n'y ait pas propagation, mais transmission quasi instantanée des ondes de pression, le microphone agira comme un manomètre et il suffira de mesurer la tension électrique développée aux bornes du microphone pour pouvoir, comme précédemment, chiffrer l'efficacité du microphone par le rapport en dynes par volt.

Afin de transformer la chambre thermophone-microphone en une véritable chambre de pression et de supprimer pratiquement la propagation, on utilise comme substratum des ondes sonores un gaz à faible densité pour lequel la vitesse de propagation est très grande, en l'espèce de l'hydrogène ; c'est bien d'ailleurs l'emploi de ce gaz qui a été préconisé pour l'étalonnage du Système Fondamental de Références pour la transmission téléphonique.

Le microphone ayant été ainsi mesuré sert au calibrage du récepteur téléphonique par couplage entre récepteur et microphone dans une atmosphère d'hydrogène au moyen d'un « coupleur » de forme convenable. Le récepteur placé dans ces conditions sera donc défini par un certain rapport de $\frac{\text{dynes}}{\text{par volt et par cm}^2}$ d'une façon tout à fait symétrique à celle du microphone.

Les deux rapports caractéristiques du microphone et du récepteur du système fondamental de Références seront respectivement de 0,05 volt par baryc et de 50 baryes par volt ; ils varient peu en fonction de la fréquence.

Les deux ensembles : système transmetteur, système récepteur sont réunis par un amplificateur sans déformation de telle sorte que la qualité transmissive de l'ensemble soit excellente et que la voix soit transmise avec une très grande pureté.

Digitized by Google

Avant de passer à l'examen du second point qui a été signalé précédemment, « la netteté », il paraît intéressant de rendre compte de quelques essais effectués au Service d'Etudes et de Recherches techniques sur des ensembles microphone-récepteur accouplés dans l'air libre et sur la comparaison directe des efficacités de deux microphones par des mesures voltmétriques.

a) *Caractéristiques de fréquence des ensembles récepteur-microphone.*

Une méthode qui vient naturellement à l'esprit pour l'essai des microphones et des récepteurs consiste à assembler, comme c'est le cas pour le système de références, par une organe de couplage formant chambre acoustique, un récepteur et un microphone et de tracer la courbe caractéristique de cet ensemble.

Mais si on fait cette expérience en alimentant le récepteur téléphonique par un courant de fréquence et d'intensité constantes, on constate que la force électromotrice apparente du microphone, relativement assez élevée et facilement mesurable au début de l'expérience, diminue rapidement, du moins quand l'intensité sonore reste au-dessous d'une certaine valeur et au bout de quelques secondes, devient extrêmement faible (de l'ordre du dixième ou du vingtième de la valeur initiale, c'est l'effet bien connu du tassement ou « packing ». Si, toutefois, au lieu de laisser le microphone rigoureusement immobile, on l'agite légèrement en tapotant son pavillon avec l'ongle, la force électromotrice reprend momentanément une valeur importante, puis revient de nouveau à de très faibles valeurs.

On est donc, dans une telle expérience, dans des conditions très différentes de celles où le microphone se trouve placé en cours des conversations ; la voix n'agit pas en effet sur le microphone seulement par les ondes de fréquence musicale qui la composent, mais aussi par les ondes brusques de compression ou de dépression dues aux consonnes.

Pour reproduire dans une certaine mesure les conditions pratiques d'emploi, il a paru utile d'envoyer de temps à autre (à raison de 1 ou 2 toutes les 2 ou 3 secondes), dans les récepteurs, des décharges de condensateurs dont l'effet est analogue à celui des ondes explosives de la voix. De fait dans ces conditions, le tassement a pratiquement disparu et il a été possible de tracer des caractéristiques définies de l'équivalent de transmission du système précédent en fonction de la fréquence.

Digitized by Google

Voici à titre d'indication un tableau donnant l'allure des résultats obtenus :

Fréquence p p s	Équivalents de transmission en décinepers (dixième de l'unité d'affaiblissement)
500	+ 38
600	+ 36
700	+ 36
800	+ 25
850	+ 12
900	− 12
950	− 11
1000	− 3
1100	+ 13
1200	+ 24
1300	+ 29
1400	+ 36
1500	+ 42
1600	+ 47
1700	+ 38
1800	+ 41
1900	+ 44
2000	+ 41

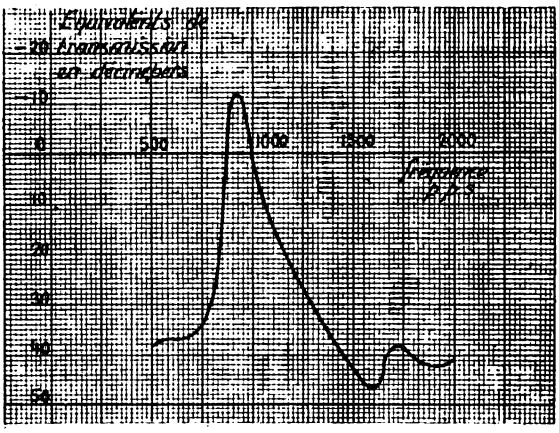


Fig. 2.

On se rend compte par ce tableau et la courbe correspondante (fig. 2) dont l'allure générale a été confirmée par de nombreuses mesures de ce genre faites sur récepteurs Bell et microphones Solid Back, des diverses résonances des ensembles de ce genre, résonances dont la plus marquée de beaucoup est comprise entre 800 et 1 200 périodes par seconde avec pointe accentuée à 1 000 périodes par seconde ; il n'est donc pas étonnant qu'un tel système, qui est en fait utilisé comme étalon de référence de travail, transforme les mesures à la voix en mesure à fréquence presque pure et voisine de 1 000 p : s et que les téléphonistes aient été conduits à adopter des courants d'une fréquence de 1 000 p : s pour rendre compte des propriétés transmissives des organes téléphoniques pour les courants microphoniques alors que la hauteur moyenne de la voix humaine est notablement inférieure à cette fréquence.

b) *Comparaison téléphonométrique au moyen d'un voltmètre.*

En vue de rendre compte des propriétés téléphonométriques des appareils d'une façon aussi objective que possible, on a été conduit à des recherches tendant à la suppression d'un ou de plusieurs opéra-

Digitized by Google

teurs humains et à leur remplacement par des machines. Parmi les essais effectués dans ce sens, il faut citer les expériences du Laboratoire du Post Office où l'on a expérimenté un oscillateur rythmique fournissant un courant musical modulé très fortement à fréquence basse ; les renforcements périodiques de son produit par cette modulation, permettent d'éviter ou de réduire notablement l'effet de tassement.

Ces essais repris au Service d'Etudes et de Recherches Français ont confirmé ces résultats qui paraissent toutefois surtout intéressants, comme d'ailleurs ceux des essais effectués avec les décharges de condensateurs, pour les étalons d'un modèle et d'une forme nettement définis, mais seraient probablement insuffisants pour permettre de caractériser sans discussion possible un appareil de forme quelconque, par exemple un microphone de combiné.

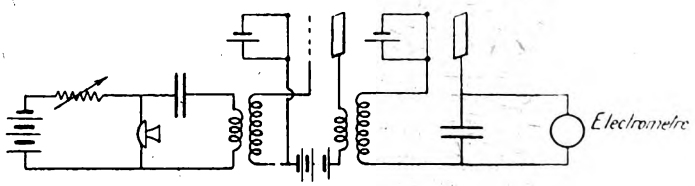


Fig. 3.

Des études ont été entreprises tout récemment par le Service d'Etudes Français en vue de la mesure directe et stable de la tension aux bornes d'un microphone en essai. Le procédé employé est analogue à celui qui fut utilisé il y a quelques années pour la mesure des surtensions de rupture (1), et qui est d'ailleurs depuis longtemps entré dans la pratique courante des laboratoires d'électricité et fait appel au kénotron monté en série avec un condensateur (fig. 3). Un électromètre placé en dérivation aux bornes du condensateur mesure la tension enregistrée par ce dernier. Pour avoir à mesurer avec ce système des tensions suffisantes, une lampe amplificatrice associée à deux transformateurs de rapport élevé, est interposée entre le microphone et le kénotron, et permet de transformer en tension de plusieurs centaines de volts les tensions de quelques volts produites par le microphone.

Le tableau ci-dessous donne une idée de l'allure générale des

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens* et *Annales des Postes et Télégraphes*, de juin 1927.

Digitized by Google

mesures effectuées de la sorte sur un microphone Solid-Back alimenté d'une part sous tension variable et à travers une résistance fixe en série, et d'autre part, par une batterie de tension constante, mais à travers une résistance variable ; les valeurs M données sont directement proportionnelles à la tension existant réellement aux bornes du microphone, c'est-à-dire à son efficacité.

Tension de la Batterie Alimentation en volts	H (nombre proportionnel à la f. é. m. du microphone)	Résistance en série avec le microphone en ohms	M nombre proportionnel à la f. é. m. du microphone
Résistance fixe 200 ohms		Tension constante	
6	20	100	66
12	36	200	60
18	40	300	51
24	44(1)	400	48
30	50	500	44
36	45	600	42
42	59	700	40
48	63	800	38
		900	36
		1000	34

(1) 1 V environ.

Ce dispositif est actuellement étendu à la comparaison de deux microphones, les écarts de déviation lus à l'électromètre permettent de chiffrer par lecture directe la différence d'efficacité des deux microphones. On peut même dans cet ordre d'idées, concevoir un montage simple utilisant un appareil électrométrique gradué en unités d'affaiblissement.

II. — Netteté.

Comme il a été indiqué précédemment, la netteté caractérise l'intelligibilité des communications. Pour en avoir une mesure suffisamment précise et aussi objective que possible, le mode opératoire est le suivant : On constitue des listes de mots absolument dépourvus de sens, mais reproduisant dans leur constitution les consonnances du langage parlé. Une telle liste de 50 mots est lue lentement et régulièrement (la cadence étant au besoin assurée par un métronome) par un premier opérateur ; un deuxième opérateur écoute et transcrit en écriture phonétique les sons qu'il perçoit après transmission à travers le sys-

Digitized by Google

tème en essai. La comparaison des deux listes lues et reçues fait ressortir un nombre α de mots correctement transcrits. Un essai analogue est repris dans les cinq autres combinaisons avec 3 opérateurs et donne les résultats $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\alpha 4$, $\alpha 5$, $\alpha 6$. La netteté de la communication sera représentée par le nombre

$$\frac{2.(\alpha 1 + \alpha 2 + \alpha 3 + \alpha 4 + \alpha 5 + \alpha 6)}{6} = N.$$

Les listes de mots disyllabiques utilisées en France sont constituées en traçant un trait au milieu d'une page et en retenant les deux syllabes qui se trouvent à chaque ligne de part et d'autre de ce trait. Le tableau ci-joint reproduit quelques listes établies conformément à ce principe et en leur donnant une orthographe phonétique.

Etant donné cette manière de procéder et le grand nombre de mots lus, il y a lieu de penser qu'on a ainsi une représentation suffisamment correcte de la composition du langage. En fait, l'expérience montre que pour un type d'appareil et pour une équipe entraînée, la netteté tend vers une valeur assez bien définie ainsi qu'il ressort du relevé comparatif ci-joint : les nombres qui y figurent résultent des mesures effectuées par deux équipes, l'une normalement entraînée et l'autre acquérant progressivement la pratique expérimentale et arrivant à donner des résultats de mesure plus homogènes et tendant à rejoindre ceux que fournit la première équipe.

Moyennes successives de 5 essais complets effectués par 3 opérateurs (A. B. C.) à raison de 6 listes de 50 mots par essais.

	Equipe entraînée	Equipe non parfaitement entraînée
1re semaine	76	62,7
2e » »	76,6	68,5
3e » »	74,7	70,5

N. B. — 1. Les nombres donnés indiquent la proportion de mots correctement reçus.

2. Le même microphone et le même récepteur ont servi pour tous les essais ; les mêmes listes étaient respectivement lues et écoutées par les deux équipes.

Digitized by Google

Exemples de Listes de mots établies en vue des essais de netteté.

1	irec	émieu	ansif	apèll	èlle	erfo
2	dézar	coril	felan	atron	uipar	delbèrg
3	dèzé	istin	inlui	voile	esprit	mestre
4	nfa	navi	defair	ome	dice	uno
5	lorque	melè	obsta	courdan	dectin	erson
6	aula	quve	mio	ruchèrr	cédé	ispar
7	èrec	andes	avait	esté	bleda	esume
8	lavi	surle	igné	izlon	aquell	sassi
9	azin	tainsi	espri	péor	kamo	moila
10	onet	rendre	témoi	vidu	nefil	neur
11	nacé	iverse	géco	norai	nati	pourta
12	nemi	diri	olèse	morde	ellune	clairvo
13	tudia	lavill	trecas	lamu	ation	franfor
14	utun	inton	riti	ecta	effrai	crito
15	oman	suquil	édèss	ravant	fouille	instru
16	fati	trahi	afir	vandex	androi	acoute
17	résise	quiorr	tanti	regrè	igne	reci
18	ézan	vertir	confrè	arran	upli	corson
19	danson	cèza	ornal	anma	loudon	doulèss
20	oteuil	vance	rita	curio	savic	lecri
21	toté	priquin	orto	néma	ludi	axeu
22	sonpro	seigné	ègre	rafi	ultur	exact
23	ecitt	astral	ancètt	estpa	extrê	tané
24	antitt	vaita	nèma	invrai	eptic	iarte
25	indum	tanda	aldi	bitu	fairdès	ourni
26	invi	pèché	tati	bitu	faird	ourno
27	posé	itable	etitt	venu	erche	irmi
28	surson	dela	doulon	tombesou	randp	étaill
29	polon	pitale	cranlor	meap	prande	faite
30	ordo	oman	apper	eudès	ouille	demè
31	seré	appa	assi	vanpour	aissou	velan
32	ðeffut	consti	noda	usqua	decho	étàt
33	perieu	uprèss	onaitt	derni	uma	assin
34	rouva	luidan	tué	cènum	seran	couvert
35	boude	gagé	pave	assio	idans	racd
36	sata	orti	usieur	gilbla	uma	cola
37	indu	leprit	semai	urnal	depuis	cyèn
38	santi	orme	l'invi	sidien	nevi	comu
39	mindum	dugran	aze	ogo	confess	parcou
40	posé	enaitt	etein	ombi	orsan	feru
41	surson	uvérr	mierquan	cedé	ute	ourir
42	aulon	atri	cevant	écou	satiss	dèjan
43	donnait	igu	épon	assa	avoir	pamoins
44	eillér	vapo	peuré	lemo	andu	la-une
45	périeu	inse	ancètt	spiri	circon	érian
46	retrou	sipa	trea	unsieur	trerap	ome
47	boude	cielan	malill	résent	decell	èrass
48	oyaitt	sito	éve	olis	depar	curi
49	cala	ispo	recon	édi	leman	danla
50	méri	urse	mara	outeque	lajou	séan

Digitized by Google

Les essais effectués à l'étranger reposent sur l'emploi de listes de mots monosyllabiques choisis après de minutieuses recherches sur la nature du langage, chaque liste étant composée de manière à avoir une constitution image de celle du langage ordinaire. Pour atteindre ce résultat, de nombreuses analyses de textes et de mots ont dû être faites. Les auteurs disent que les mesures effectuées à l'aide d'un nombre suffisant de listes (listes de 500 syllabes établies dans ces conditions) et d'opérateurs (4 ou 5) varient également très peu d'un essai global à un autre (moins de 2 pour cent).

Pour comprendre la valeur relative de ces résultats, il faut se rappeler que dans une conversation à l'air libre dans une salle ayant une acoustique convenable, des essais du genre précédent effectués par des opérateurs exercés donnent une netteté comprise entre 95 et 100.

Ce sont des résultats de cet ordre que l'on a pu obtenir également sur l'appareil de Référence qui avait été exposé à Paris par l'International Western Electric Company.

Il est d'ailleurs possible que les essais de netteté qui jusqu'ici conservent malgré toutes les précautions prises et les progrès réalisés, un certain caractère d'empirisme, parviennent à gagner dans l'avenir plus de précision et d'objectivité, suivant en cela une progression analogue à celle qu'ont suivie les essais pour la détermination de l'efficacité.

Digitized by Google

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1927

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

Séance d'ouverture du Lundi 24 Octobre 1927

M. FABRY, *Président*, ouvre la séance en ces termes :

Messieurs,

« Nous allons commencer aujourd'hui, pour la quatrième fois, cette série de discussions qui ont déjà donné des résultats extrêmement intéressants vous en avez le programme entre les mains. Les divers sujets à l'ordre du jour ont donné lieu à des mémoires de tout premier ordre qui vous ont été adressés.

« Je crois que cette initiative que nous devons à M. BUNET a été fort heureuse.

« Dès aujourd'hui, nous allons discuter le rapport très important de M. ROTH, sur *l'échauffement des machines électriques* qui est une mise au point tout à fait remarquable et capitale dans l'étude de ces machines puisque, en somme, ce sont bien souvent ces échauffements qui limitent la puissance.

« En ce qui me concerne, je regrette vivement de ne pouvoir donner à cette discussion tout le temps que j'aurais voulu, j'aurais eu beaucoup à y apprendre, malheureusement mon temps est très pris en ce moment par la préparation du Centenaire de Fresnel.

« Je déclare ouverte la séance de discussions et je passe la présidence à M. GIRAULT.

Digitized by Google

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Sommaire

1° Discussion du rapport de M. Roth, sur l'échauffement des machines. — M. Roth : préambule, p. 239. — M. Demany : observations sur le mode de détermination des échauffements, p. 240. — M. Mailloux : observations sur l'équation de Poisson et sur l'avantage des coordonnées cylindriques, p. 243. — M. Perrin : simplification des calculs par l'application de la loi de similitude, p. 246. — M. Darrieus : observations sur le régime variable, p. 247. — M. Belfils : cas des alternateurs à haute fréquence : des machines très longues, p. 249. — M. Ehrmann : dispositiif breveté des tôles pour l'évacuation de la chaleur, p. 252. — M. Roth : réponse, p. 256. — Application au cas des matières de conductibilité différente, p. 257. — M Pomey : méthode de Fredholm ; calcul d'Heaviside, p. 260.

2° Discussion du rapport de M. Le Monnier sur la signification physique de la tension de réactance dans les machines à champ tournant. — M. Belfils : remarques sur la grandeur de tension de réactance due aux harmoniques du champ ; sur les pertes parasites dans les machines asynchrones synchronisées ; dans les machines synchrones ; sur les conséquences de raccourcissement du pas, p. 265 — M. Darrieus : cas des machines asynchrones à collecteur avec tête de bobines en hélices par manteaux concentriques, p. 269.

3° Discussion du rapport de MM. Langlois et Letrillart sur le fonctionnement en régime amorcé d'une génératrice asynchrone isolée. — M. Belfils : note de M. Berger sur un montage à fonctionnement indépendant du calage des balais, expérimenté par la S.A.C.M., p. 270. — M. Darrieus : influence des propriétés du contact charbon collecteur sur l'auto-excitation, p. 273. — M. Girault. Belfils : emploi du courant faible pour provoquer l'amorçage, p. 274. — M. de Pistoye : vitesse critique d'amorçage, p. 274.

4° Discussion du rapport de M. Ricalens sur la forme d'onde de la tension en charge dans les alternateurs. — M Fallou : causes d'amortissement provenant des réseaux, p. 275. — M. de Pistoye : difficulté de la réglementation des courbes en charge du fait des appareils d'utilisation ou de réactance d'induit, p. 276. — M. Belfils : réponse, p. 277.

5° M. de la Gorce : note sur la récente méthode de M. Blondel pour la mesure de la déformation des courbes d'alternateurs, p. 279. — Discussion. — M. Roth : rappel de l'adoption par la Commission Electrotechnique internationale à New-York du principe de la méthode de Boucherot p. 282. — M. Pomey : rappel des travaux de Wagner, p. 282.

Présidence de M. Girault,

Ingénieur à la Compagnie française Thomson-Houston.

M. Roth. — Le travail que j'ai l'honneur de vous présenter (1), et qui doit servir de base à la discussion sur l'échauffement des machines électriques, est le résultat de longues méditations qui s'étendent sur plusieurs années. Il n'est que la première partie d'une étude plus complète, et j'estime que quelques années encore sont nécessaires pour la

(1) Introduction à l'étude analytique de l'échauffement des Machines électriques. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, n° 72.

Digitized by Google

terminer. Peut-être me sera-t-il possible de vous la soumettre dans trois ans, en 1930, à l'occasion du Centenaire de la mort de FOURIER.

Dans mon mémoire, j'ai cherché à rendre hommage à cet illustre savant et à faire partager par le lecteur l'admiration que j'éprouve pour son œuvre. Son nom est devenu immortel par son ouvrage sur la théorie analytique de la chaleur, publié en 1822, dans lequel il a développé la théorie des séries trigonométriques qui portent son nom. J'ai reproduit dans mon travail quelques pages de FOURIER qui montrent comment il est parvenu à établir ses séries, et qui permettent d'apprécier le langage clair et le style net et précis du grand savant. Si le temps nous le permet je vous exposerai tout à l'heure cette partie de l'œuvre de FOURIER.

Je ne dois pas oublier les autres mathématiciens et physiciens français qui ont continué l'œuvre de FOURIER, et qui sont LAMÉ, POISSON, POINCARÉ et BOUSSINESQ. Pour exprimer analytiquement la dissymétrie, j'ai eu recours aux enseignements de LAMÉ, dont j'ai également reproduit quelques pages tirées de ses leçons sur la théorie analytique de la chaleur.

Quelle est la raison qui m'a fait entreprendre ce travail ? Lorsque vous passez en revue toutes les conditions qui déterminent le fonctionnement d'une machine électrique, vous vous apercevez qu'elles ont fait l'objet d'études très approfondies. Je citerai par exemple la marche en parallèle des alternateurs, la régulation des alternateurs, le courant de court-circuit instantané, le calcul des pertes, tous les diagrammes de fonctionnement, la contrainte diélectrique des isolants, et beaucoup d'autres recherches dont les solutions sont arrivées à un degré de précision que l'on n'avait pas pu soupçonner autrefois. C'est le développement rapide des machines électriques, les grandes dimensions qu'elles ont prises, la recherche du fonctionnement économique et sûr, qui ont poussé les ingénieurs à examiner toutes ces questions à fond. Les solutions des problèmes ne peuvent plus avoir la forme simple appréciée autrefois, car elles nécessitent presque toujours un appareil mathématique considérable. Pour beaucoup de problèmes, il a même fallu abandonner l'aide de l'analyse; de nouveaux procédés d'investigation ont été créés, tel que l'incomparable outil de travail que forme la méthode graphique du tracé des lignes de force de M. LEHMANN.

Vous remarquez que dans la liste de conditions de fonctionnement que je viens de citer il manque une des principales : l'échauffement. Je ne veux pas dire qu'il n'ait pas formé le sujet de certaines études

Digitized by Google

de la part des ingénieurs; elles sont au contraire très nombreuses, comme vous pouvez vous en apercevoir par la bibliographie ajoutée à la fin de mon travail, et parmi lesquelles je ne citerai que celles de nos collègues : MM. GIRAULT et PERRIN ici présents. Mais très rares sont parmi ces études celles qui cherchent à déterminer l'échauffement d'une machine électrique, ou d'une de ses parties, dans des conditions données de pertes, d'isolation et de refroidissement. La raison en est bien simple; pour arriver à des solutions qui ne soient pas trop compliquées, il faut faire certaines hypothèses simplificatrices, et l'ingénieur craint que ces hypothèses ne l'éloignent trop de la vérité. Pour arriver à des solutions plus exactes, il faut avoir recours à des séries, et il y a une certaine aversion pour l'emploi de solutions de ce genre. Je dois ajouter que la solution générale et rigoureuse n'est pas encore trouvée, mais je crois qu'elle pourra l'être un jour. Elle sera forcément très compliquée et ne pourra être appliquée qu'à certains cas exceptionnels. Mais ici s'applique également ce que j'ai dit plus haut pour l'étude des autres conditions de fonctionnement des machines électriques : plus on approfondira les questions, et plus on apportera de rigueur à leur examen, plus les solutions seront compliquées.

Pour l'instant, la solution du problème général est encore très éloignée, et le but de mon travail est beaucoup plus modeste; il doit montrer jusqu'où, dans l'état actuel de la science, peut être poussé le calcul prédéterminant l'échauffement des machines électriques, ou d'une de leurs parties et faire voir quelles sont les formes que prennent les solutions dans différents cas. En les appliquant à des cas pratiques, j'ai aussi cherché à démontrer que ces solutions ne sont pas seulement des formules mathématiques, mais qu'elles peuvent être utiles à l'ingénieur. Il aura d'autant plus confiance en elles que l'exactitude de la théorie a pu être démontrée par des recherches expérimentales.

M. ROTH expose son rapport sur *l'échauffement des machines électriques*.

M. DEMANY, Ingénieur aux Forges et Ateliers de constructions électriques de Jeumont, présente, au nom de M. LANGLOIS, excusé, la note suivante :

1. — Les calculs d'échauffement occupent, dans l'étude technique des machines, une place aussi importante que les calculs proprement

Digitized by Google

électrotechniques des circuits électrique et magnétique. Le constructeur est amené à leur consacrer autant de soin et de temps; parfois même, le calcul d'échauffement est le plus long et le plus délicat.

L'importance d'une prédétermination exacte des échauffements tient à deux raisons :

a) L'expérience a montré que la vie d'une machine était en relation directe avec les échauffements, ce qui a conduit à réglementer, pour chaque catégorie d'isolation, des températures limites.

b) La bonne utilisation des matières actives exige le plus souvent que la machine atteigne sensiblement ces températures limites.

2. — Avant d'aborder le calcul d'échauffement, il faut résoudre deux problèmes :

a) Le problème des pertes, qui est électrotechnique : quelle est la répartition des pertes engendrées dans tout élément de volume de la machine; et comment ces pertes varient-elles avec la température ?

b) Le problème de la ventilation, qui ressort de la mécanique des fluides.

On calcule d'abord, compte tenu de tous les incidents de route, les pertes de charge dans le circuit résistant qui comprend le trajet dans les parties à refroidir, les passages de la carcasse.

On calcule ensuite le ventilateur qui doit faire passer le débit d'air voulu dans le circuit résistant.

Ces deux problèmes sont régis par des lois fondamentales qui sont connues, et l'investigation par l'analyse peut être poussée assez loin. Malgré cela, ils restent extrêmement difficiles à résoudre dans tous les cas autres que les cas schématiques les plus simples.

Ainsi, d'une part la difficulté du calcul des pertes supplémentaires est une question bien connue des électriciens; d'autre part dans une machine, l'air est plus ou moins canalisé, l'écoulement plus ou moins tourbillonnaire, certains des canaux jouent plus ou moins le rôle de ventilateur, le schéma de la ventilation échappe même à l'analyse.

3. — On se propose de dresser la carte des températures externes et internes de la machine.

Deux lois régissent le phénomène, comme le rappelle M. Roth :

a) La loi de Fourier (conduction) applicable au flux de la chaleur dans le milieu conducteur;

Digitized by Google

b) La loi de Newton (convection) applicable à la surface.

Pour appliquer la première loi, il faut connaître les pertes dans chaque élément du volume; pour appliquer la seconde loi, il faut connaître la vitesse de l'air sur chaque élément de la surface.

Dans la pratique, le calcul de l'échauffement d'une machine peut être abordé de la manière suivante :

Considérons le volume actif V de la machine. Ce volume est limité par une surface S en contact avec l'air de refroidissement.

Divisons la surface S en un nombre fini de surfaces partielles S_1, S_2, ..., S_k, ... S_n sur chacune desquelles la température puisse être regardée comme constante.

Chaque surface partielle se charge d'évacuer les pertes p_1, p_2, p_k, ..., p_n dont la somme est égale aux pertes totales P de la machine.

Comment attribuer à la surface S_k les pertes p_k qui lui correspondent ? Cette répartition ne peut être faite qu'arbitrairement car une répartition exacte demanderait que le problème soit déjà résolu.

La loi de la convection est alors :

$$\frac{p_k}{S'_k \Delta\theta_k} = \text{constante.}$$

S'_k étant la surface S_k majorée d'un terme tenant compte de la vitesse de l'air sur la surface; et $\Delta\theta_k = \theta_{sk} - \theta_{ak}$ la différence entre la température de la surface d'indice k, et celle de l'air en regard. Les pertes p_k sont à prendre pour une température arbitrairement admise.

En général, l'air s'est déjà chargé de certaines pertes P' avant de lécher la surface S_k; sa température θ_{ak} dépasse la température θ_0 de l'air à l'entrée de la quantité :

$$\theta_{ak} - \theta_0 = \frac{P'}{4{,}2 \times 1{,}2 \times 0{,}24 q}$$

q étant le débit d'air par seconde; 1,2 la densité moyenne et 0,24 la chaleur spécifique de l'air. Ayant ainsi déterminé les températures θ_{sk} des surfaces, on passe aux échauffements internes par un calcul de conduction.

Tous les calculs étant terminés, on peut alors revenir par approximations successives sur les valeurs arbitrairement admises.

4. — J'avais principalement en vue de faire apparaître l'impossibilité que rencontre le constructeur à prédéterminer exactement par le calcul l'échauffement d'une machine électrique.

Nous sommes-là en face d'une question dont les lois élémentaires

Digitized by Google

sont connues, mais chaque cas réel de la pratique doit, pour être soumis au calcul, être simplifié à un tel point que l'on entreprend sans grande conviction des calculs compliqués : avec les mille simplifications admises, les coefficients de conduction et de convection variables selon les expérimentateurs, la qualité des matériaux et les conditions de leur emploi, quel peut être le degré de certitude ? La coïncidence entre le calcul et la mesure dans un cas particulier n'est-elle pas fortuite ?

Et l'on revient à la conclusion que seules les méthodes de comparaison basées sur de nombreux essais interprétés avec le secours de la théorie, peuvent donner la certitude nécessaire aux réalisations nouvelles.

En concluant que la théorie ne peut donner autre chose que des moyens de comparaison rationnels, je ne veux nullement amoindrir l'intérêt des études théoriques telles que celle de M. Roth, auquel il faut savoir gré d'avoir mis à la disposition de l'Ingénieur des moyens de calcul puissants et cela sous la forme la plus claire. Mais il s'agit ici, d'un de ces problèmes qui continueront longtemps encore à défrayer la littérature technique sans qu'aucune découverte puisse, semble-t-il, être attendue, qui vienne l'éclairer d'une lumière nouvelle.

M. Mailloux. — Je ne suis pas tout à fait d'accord avec M. Langlois lorsqu'il exprime sa préférence pour les méthodes que l'on pourrait appeler franchement empiriques. Mon expérience de professeur et de praticien m'a enseigné qu'il y a toujours intérêt à chercher les méthodes rationnelles, même si elles semblent les plus difficiles à employer. Il faut noter qu'il y a une différence entre le tâtonnement et le triage. Par le triage, on arrive à dissocier ce qui est vrai de ce qui ne l'est pas, tandis que dans une synthèse purement empirique, tout est englobé ensemble. Or, certains résultats donnés par le triage, peuvent être approfondis facilement, tandis que d'autres demanderont qu'on y consacre plus de temps.

On peut constater, par une lecture même rapide du mémoire de M. Roth, qu'il a déjà parcouru un chemin important et qu'il mérite nos éloges en même temps que nos remerciements. Si l'on avait disposé, il y a quinze ans, du travail de M. Roth, on aurait fait beaucoup plus de progrès et on aurait pu étudier certaines particularités qui semblent encore mystérieuses et qui s'opposent à la solution des problèmes que l'on discute à la Commission internationale.

Digitized by Google

Dans son travail, M. ROTH nous montre d'une façon claire des phénomènes qui, il y a quelques années étaient tout à fait obscurs. Il y a donc lieu de l'encourager par tous les moyens possibles.

Un point qui m'a frappé dans ce mémoire, c'est que, pour la première fois, on voit l'équation de POISSON sortir des sphères académiques pour entrer dans le domaine de la pratique. Tous ceux qui ont eu l'occasion d'utiliser cette équation, ont constaté que, si l'équation de LAPLACE est employée pour l'étude d'une multitude de phénomènes, l'équation de POISSON au contraire reste à l'arrière-plan. M. ROTH nous expose très clairement les conditions auxquelles s'appliquent les deux équations et montre à ceux qui ne l'avaient pas déjà constatée, la différence très importante qui existe entre elles, l'équation de LAPLACE concernant les phénomènes qui se passent dans un volume soumis aux seules influences venant de l'extérieur, et l'équation de POISSON s'appliquant aux phénomènes soumis également à des influences venant de l'intérieur.

M. ROTH mérite tous nos éloges pour avoir comblé d'une façon si lucide, si instructive et pratique une lacune dans l'enseignement des applications de la physique. Son beau travail ouvre une porte, restée inaperçue, sinon fermée jusqu'à présent, et qui donne sur des chemins plus directs et plus faciles que certaines des anciennes routes classiques.

Il y a une voie très intéressante à suivre à propos de la dissymétrie dans les phénomènes. Je me permets d'observer que l'équation de LAPLACE, tout comme celle de POISSON peut être transformée pour tenir compte des dissymétries. Enfin, en utilisant pour écrire l'équation, des coordonnées cylindriques, on est en état de rendre compte de l'obliquité; on éliminerait de cette façon les difficultés introduites par la forme des encoches et par beaucoup d'autres conditions qui sont une gêne dans l'étude de la répartition de la chaleur et de sa propagation.

De toute façon, étant donné que le courant produit l'échauffement, que les conducteurs sont souvent, sinon toujours cylindriques, la transformation des équations de LAPLACE et de POISSON en coordonnées cylindriques, nous permettrait d'éliminer certaines complications dues à l'obliquité.

Je n'ai pu étudier la question à loisir ne lui ayant consacré que quelques instants, mais M. ROTH saura nous dire si cette possibilité est intéressante ou non.

Enfin, je tiens à remercier M. ROTH et la Société Française des Elec-

Digitized by Google

triciens d'avoir porté à la connaissance du public électricien international, un mémoire d'une si grande importance, et j'espère que non seulement il trouvera sa place dans son pays, mais qu'il sera traduit dans plusieurs langues, ce qui permettra à un plus grand nombre de personnes de profiter de ses enseignements.

M. PERRIN. — Le nombre des calculs est réduit et l'écriture est simplifiée par la considération d'équations réduites et la recherche de loi de similitude.

Considérons par exemple le § 13, p. 921 qui concerne la répartition de la température dans la section droite d'une colonne de transformateur ou d'une bobine inductrice; θ, x, y, sont liés par l'équation

$$(1) \qquad K_x \frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} + Ky \frac{\partial^2\theta}{\partial y^2} + W = 0$$

avec les conditions à la surface : faces $x = \pm a$, $y = \pm b$;

$$(12) \qquad \mp K_x \left(\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)_{x=\pm a} = h_a \theta_{x=\pm a},$$

$$\mp K_y \left(\frac{\partial\theta}{\partial y}\right)_{y=\pm b} = h_b \theta_{y=\pm b}.$$

Nous avons K_x, K_y, W, a, b, h_a, h_b soit 7 variables.

Considérons le cas d'une section de conductibilité égale à 1 dans les deux sens, et d'une quantité de chaleur produite par unité de volume égale à 1. (Système II, pour lequel la température et les dimensions sont désignées par de grandes lettres).

Cette section est limitée par des surfaces $X = \pm 1$, $Y = \pm r$ et soient α et β les coefficients d'émission de la chaleur à la surface.

Nous avons les équations suivantes dérivées des équations (1) et (12).

$$(1') \qquad \frac{\partial^2\Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2\Theta}{\partial Y^2} + 1 = 0.$$

$$(12') \qquad \begin{cases} X = \pm 1 & \dfrac{\partial\Theta}{\partial X} = \alpha\Theta, \\ Y = \pm r & \dfrac{\partial\Theta}{\partial Y} = \beta\Theta. \end{cases}$$

Il n'y a plus que trois variables seulement dans ce système réduit et

$$\Theta = f(r, \alpha, \beta)$$

se résoud par la méthode de M. ROTH avec quelques simplifications dans l'écriture.

Pour passer au cas général (Système I) relions les deux systèmes par des relations simples; posons

Digitized by Google

$$\frac{x}{X} = a, \qquad \frac{y}{Y} = \frac{b}{r} \qquad \text{et} \qquad \frac{\theta}{\Theta} = t,$$

et observons que

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial X}\frac{\partial X}{\partial x} = \frac{1}{a}\frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{1}{a}\,t\,\frac{\partial \Theta}{\partial X},$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{1}{a}\,t\,\frac{\partial^2 \Theta}{\partial^2 X}\frac{\partial X}{\partial x} = \frac{1}{a^2}\,t\,\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2},$$

de même

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = \frac{r^2}{b^2}\,t\,\frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2},$$

l'équation 1 devient

$$K_x \frac{t}{a^2}\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + K_y \frac{tr^2}{b^2}\frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} + w = 0.$$

Les équations 12

$$K_x \frac{t}{a}\frac{\partial \Theta}{\partial X} = h_a t \Theta,$$

$$K_y \frac{tr}{b}\frac{\partial \Theta}{\partial y} = h_b t \Theta.$$

En tenant compte des équations 1′ et 12′ il vient

$$K_x \frac{t}{a^2} = w, \qquad K_y \frac{tr}{b^2} = w,$$

$$K_x \frac{t}{a}\alpha = h_a t,$$

$$K_y \frac{tr}{b}\beta = h_b t,$$

d'où on tire les valeurs des trois paramètres

$$r^2 = \frac{b^2}{K_y}\frac{K_x}{a^2}, \qquad r = \frac{b}{a}\sqrt{\frac{K_x}{K_y}},$$

$$\alpha = h_a \frac{a}{K_x}, \qquad \beta = h_b \frac{b}{rK_y} = h_b \frac{ba}{b\sqrt{\frac{K_x}{K_y}}K_y} = h_b \frac{a}{\sqrt{K_x K_y}},$$

et on a

$$t = \frac{w a^2}{K_x},$$

d'où

$$\theta = \Theta \times \frac{w a^2}{K_x} = \frac{w a^2}{K_x} f(r, \alpha, \beta).$$

Les valeurs de Θ peuvent être calculées une fois pour toutes en fonction de r, α et β ce qui permet ensuite de résoudre rapidement tous les cas possibles, qui peuvent se présenter avec les 7 variables rencontrées en pratique.

Digitized by Google

Cette méthode de réduction permet également de simplifier l'étude expérimentale.

Pour trouver comment Θ varie en fonction de α et de β il suffit par exemple de faire varier h' et h en disposant sur les faces des écrans d'épaisseurs variables, ce qui est équivalent à des variations de dimensions ou de conductibilité thermiques de la section difficiles à réaliser.

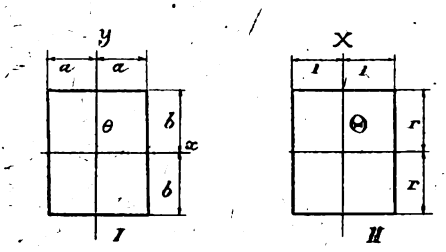


Fig. 1.

Ces conditions de similitudes sont particulièrement intéressantes dans le cas de la convection calorifique pour laquelle intervient un très grand nombre de variables, mais elles sont également utiles dans les cas plus simples sujets au calcul pour réduire le nombre de ces calculs et augmenter leur rapidité.

M. Darrieus. — M. Mailloux a déjà remercié, mieux que je ne saurais le faire, M. Roth pour nous avoir apporté son beau travail, et je voudrais seulement chercher à atténuer la portée des réserves qu'a cru devoir exprimer M. Langlois à son sujet. En effet, s'il reste encore beaucoup à apprendre sur la partie hydro-dynamique de la question, les objections opposées à la théorie sont stériles et fâcheuses dans la mesure où elles conduisent à s'abstenir, et découragent d'entreprendre des études longues et pénibles dans l'état actuel de nos connaissances.

Au surplus, quelles que soient les lois exactes (la plus complexe est celle du coefficient de transmission extérieure), quel que soit notamment l'exposant de la puissance de la vitesse par exemple, dont elles dépendent, la simple loi de Newton suffit en général pratiquement dans les limites de température auxquelles nous avons affaire dans les calculs de machines. D'ailleurs, l'aspect hydrodynamique moderne du problème a été traité dans beaucoup de mémoires que M. Roth a cités, et je me bornerai à souligner l'intérêt de ceux qui ont été publiés aux Etats-Unis dans ces dernières années, notamment par C.-W. Rice et G.-E. Luke, et qui constituent une application très intéressante des raisonnements de similitude.

Digitized by Google

Les études du genre du présent mémoire tiennent un prix particulier de ce qu'elles viennent d'un praticien. En effet, si un professeur eût entrepris ce travail, il eût pu être taxé par ceux auxquels je faisais allusion au commencement, de théoricien ou de rêveur, tandis que M. Roth a étayé ses travaux de réalisations qui leur donnent tout leur prix.

Au surplus, même quand des réserves sont à faire sur l'exactitude numérique de certaines solutions, la valeur de leur seule forme qualitative ou de leur structure demeure considérable, comme ne peuvent l'apprécier que ceux qui ont fait eux-mêmes des calculs de ce genre.

Par exemple, je citerai un ordre de questions qui sort du cadre de ce mémoire, celui ayant trait aux régimes variables. Là, les difficultés sont encore plus grandes et encore plus décourageantes à première vue.

Mais on peut cependant tirer des indications précieuses de la forme même des équations différentielles ou de simples conditions de similitude, par exemple pour la théorie que visait implicitement M. Boucherot quand, à la Commission Electro-Technique Internationale à Genève, il a cherché à donner une base rationnelle à une proposition émanant du Comité britannique au sujet des surcharges.

En première approximation, nous pouvons diviser par la pensée la machine en un nombre assez limité de parties supposées séparément homogènes, en justifiant l'adoption d'un schéma aussi simpliste par le fait que l'équilibre de température peut s'établir aisément et promptement dans toute l'étendue de certaines parties des machines, comme le confirme précisément l'étude plus approfondie de ce schéma.

Par exemple, on peut considérer dans une machine le fer et le cuivre, voire même distinguer dans l'enroulement d'une armature la partie noyée dans les encoches et celle extérieure.

Si nous nous en tenons par exemple à quatre parties, le calcul fait ressortir, dans la loi variable de l'échauffement, quatre exponentielles, mais dont une correspond toujours à une constante de temps nettement supérieure, de sorte que les trois autres exponentielles, qui peuvent être facilement mises en évidence à l'aide de thermocouples, ne représentent qu'une phase initiale très éphémère du régime qui suit un changement de conditions.

En effet, la théorie de Fourier, telle qu'il l'a appliquée au refroidissement du globe terrestre, montre qu'une répartition initiale de

Digitized by Google

température absolument quelconque peut toujours se résoudre en une somme de termes fondamentaux, s'affaiblissant en fonction exponentielle du temps, d'autant plus vite qu'ils correspondent à des ondulations de pas plus court ou à des harmoniques plus élevés, leur constante de temps étant en raison inverse du carré des dimensions homologues ou de la longueur d'onde.

M. Belfils. — Après l'exposé de M. Roth de ses remarquables travaux et la discussion si intéressante qu'il a entraînée, je me permettrai, par quelques exemples, de montrer tout l'intérêt que peut présenter dans la pratique courante l'application de ces nouvelles théories.

On s'est, en effet, contenté pendant bien longtemps dans l'étude de l'échauffement des machines électriques, de négliger à peu près complètement le problème de la transmission de la chaleur entre les points où elle est engendrée et les surfaces sur lesquelles elle se trouve dissipée; les simples considérations de densité de courant, d'induction et de pertes par unité de surface intervenaient à peu près seules dans la prédétermination de l'échauffement. Ce n'est que peu à peu que l'on a cherché à se rendre compte de la façon dont la chaleur se transmettait dans les différents milieux qu'elle avait à parcourir.

Il est cependant des cas où le calcul de l'échauffement devient simplement un problème de transmission dans un milieu laplacien; je citerai à titre d'exemple un matériel un peu particulier mais très intéressant, c'est celui des alternateurs à haute fréquence dans lesquels les pertes sont localisées dans un volume de fer excessivement réduit mais ont une valeur spécifique excessivement élevée. Dans de telles machines, construites pour des fréquences atteignant 30 000 périodes par seconde, l'amplitude de la variation d'induction peut atteindre 800 à 1 000 gauss, et malgré l'emploi de tôles fines au silicium, les pertes sont de l'ordre de plusieurs centaines de watts par kilogramme de métal soumis à la variation d'induction, au lieu de 10 à 25 W dans les machines à fréquence ordinaire. Il ne pouvait être question d'évacuer avec de l'air des pertes aussi élevées et dans les machines construites par la Société alsacienne de Constructions mécaniques, on a adopté comme agent de refroidissement un liquide, eau ou huile, circulant dans des canaux pratiqués dans la carcasse de la machine. Or, la constante de transmission de la chaleur d'une paroi métallique à un liquide en mouvement est beaucoup plus élevée que dans le cas de la transmission à de l'air en mouvement et dans le problème dont je vous entretiens, il était aisé de remarquer que la température de la

Digitized by Google

paroi de refroidissement était très voisine de celle de l'eau. Le calcul de l'échauffement revenait donc, dans le cas qui nous occupe, à la détermination de la différence de température entre la région soumise

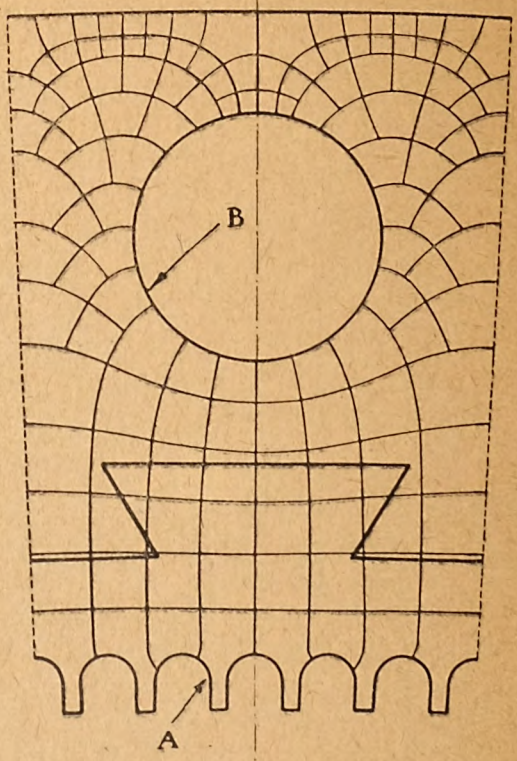


Fig 2. Tracé des tubes de chaleur dans un alternateur à haute fréquence entre les parois des dents A et la paroi de refroidissement B supposée équithermique.

aux pertes et les parois de refroidissement, la transmission de chaleur s'effectuant dans un milieu laplacien. La disposition géométrique des surfaces étant compliquée, nous avons simplement résolu le problème en appliquant la méthode de tracés des tubes de force de

Digitized by Google

M. LEHMANN qui nous a donné le système de tubes de chaleur de la figure 1; les hypothèses faites, d'une part de la constance de la température sur la paroi B de refroidissement de l'autre à la surface A des dents étant justifiées, le nombre de tubes de force de la figure 1 par exemple nous fait connaître la conductibilité thermique entre les deux surfaces et par conséquent la différence de température requise pour la transmission de la chaleur engendrée dans la machine. Ce petit exemple nous montre un cas particulier où les études effectuées pour l'étude du champ magnétique trouvent leur application dans le champ thermique.

Je vais maintenant aborder un autre sujet et revenir au matériel électrique de construction plus courante.

Dans le cas d'une machine très longue, l'échauffement du cuivre au centre de la machine doit être considéré comme la somme de quatre différences de température : élévation de température de l'air entre son entrée dans la machine et la sortie, si le centre ne reçoit pas d'air frais, différence de température entre les surfaces mises en contact avec l'air et l'air lui-même, différence de température entre la région refroidie des tôles et les parois des dents, enfin différence de température entre cuivre et denture, c'est-à-dire chute de température par conductibilité dans l'isolant ; quand on songe que l'échauffement de l'air peut à lui seul atteindre 30 degrés, que la chute de température dans la gaine isolante entourant le cuivre peut être de 25 à 35 degrés, on voit combien doivent être faibles les deux chutes de température intermédiaires et l'on arrive à cette conclusion que dans ce cas il faut chercher à évacuer les pertes au voisinage immédiat des points où elles ont les valeurs spécifiques les plus hautes.

A ce point de vue, il semblerait avantageux d'employer de préférence la disposition de canaux purement axiaux pratiqués dans la couronne des tôles le plus près possible de la denture; cette disposition a toutefois l'inconvénient d'exiger des vitesses d'air très grandes sur toute la longueur des conduits et de nécessiter des pressions d'air très élevées et, de plus, tout le centre de la machine n'est refroidi que par de l'air déjà chaud. Ce sont ces deux raisons qui font que la ventilation axiale est progressivement abandonnée; on a cherché peu à peu à assurer de l'air frais en tous points et sur les très grandes unités américaines récemment construites, on a résolu le problème en ménageant à l'air frais de multiples chemins axiaux, l'air entrant par la périphérie extérieure du stator dans un certain nombre d'évents

Digitized by Google

axiaux voisins léchant les gaines isolantes et les tôles, puis parcourant l'entrefer pour retrouver d'autres évents axiaux de sortie d'air.

Cette disposition présente un très grand intérêt, puisqu'elle assure l'alimentation en air frais sur toute la longueur de la machine, mais la tranche des tôles exposée à l'air frais n'est que la surface des dents à l'entrefer et par conséquent la transmission de la chaleur doit ici encore se faire en grande partie dans le sens de la faible conductibilité thermique; heureusement sur de faible distance, car les paquets de tôles sont assez minces.

Dès 1921, la Société alsacienne de Constructions mécaniques a normalisé sur ses grands turbo-alternateurs une disposition décrite d'ailleurs par M. Roth dans la R. G. E. du 27 janvier 1923, dans laquelle un évent radial sur deux est utilisé comme entrée d'air, l'évent voisin servant de retour d'air et la communication entre les deux évents se faisant par l'encoche de fuites; par conséquent, l'air vient lécher le flanc des tôles dans les encoches de fuites sur toute la hauteur de ces encoches; la transmission de la chaleur se fait donc dans ce cas en grande partie dans le sens de la grande conductibilité des tôles, tout au moins dans la région où la densité des pertes est élevée. On arrive dans ces conditions à réduire au minimum la chute de température entre les points de production de la chaleur et les points de dissipation.

Par les deux exemples que je viens de citer, on voit tout l'intérêt que présentent les problèmes de la transmission de chaleur pour la solution desquels les derniers travaux de M. Roth nous ouvrent de nouveaux horizons.

M. Ehrmann. — Les noyaux feuilletés qui entrent dans la constitution des machines électriques, comportent en général des canaux de refroidissement qui peuvent être réalisés de diverses manières.

1° Dans la plupart des cas, dès qu'un noyau présente une épaisseur notable, il est divisé en paquets d'épaisseur moindre séparés par des canaux de ventilation dont le nombre est limité par l'accroissement de longueur axiale que leur présence entraîne.

Les surfaces latérales des canaux de ventilation constituent la partie principale de la surface de refroidissement des noyaux ainsi réalisés.

Le courant d'air qui parcourt l'un de ces canaux refroidit sur toute leur étendue chacune des deux tôles qui limitent ce canal. Dans l'intérieur de chaque paquet, la chaleur se transmet de chaque point au canal de ventilation le plus proche, par échange calorifique de tôle à tôle.

Digitized by Google

Il y a donc lieu de remarquer que, d'une manière presque générale, le refroidissement des machines électriques est conçu de telle manière que *la direction du flux calorifique principal est perpendiculaire au plan de feuilletage*..

Or, la conductibilité calorifique des noyaux feuilletés suivant cette direction est très réduite à cause des couches successives isolantes qui séparent les tôles. La conductibilité calorifique est, en effet, de 50 à 70 fois plus grande parallèlement au plan des tôles que suivant la direction perpendiculaire.

2° Une seconde disposition moins utilisée que la première mais cependant fréquemment appliquée au rotor notamment des machines électriques, consiste à perforer les tôles pour ménager dans les noyaux les orifices axiaux utilisés comme canaux de ventilation.

Ce genre de dispositif peut faire l'objet de la remarque suivante :

Si nous considérons une tôle d'une certaine étendue perforée d'un

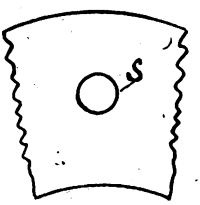


Fig. 3.

orifice, et que nous cherchions à refroidir toute cette tôle en n'offrant à l'action d'un courant d'air que la surface extrêmement réduite (fig. 3) présentée par le bord de l'orifice, nous serons conduits à utiliser cette surface avec d'autant plus d'énergie que son étendue est plus réduite.

En outre, les surfaces de refroidissement que présentent des canaux ainsi constitués sont obtenues d'une manière onéreuse, puisque ce sont des surfaces entièrement usinées par l'outil de poinçonnage et plus onéreuses encore quand la présence de ces canaux axiaux oblige à augmenter les sections des noyaux magnétiques.

D'autre part, un noyau magnétique feuilleté constitué par des tôles minces semble, par sa structure même, présenter une richesse latente de surfaces particulièrement étendues et ces surfaces sont façonnées au laminoir d'une manière très économique qui se trouve même gratuite, le feuilletage étant une nécessité indépendante des dispositifs de refroidissement adoptés.

Digitized by Google

Ces diverses remarques nous ont conduit, dans la construction d'un certain nombre de machines, à *orienter de façon systématique le flux calorifique parallèlement au plan des tôles*, et dans ce but à superposer alternativement des tôles de deux profils différents. Ce genre de

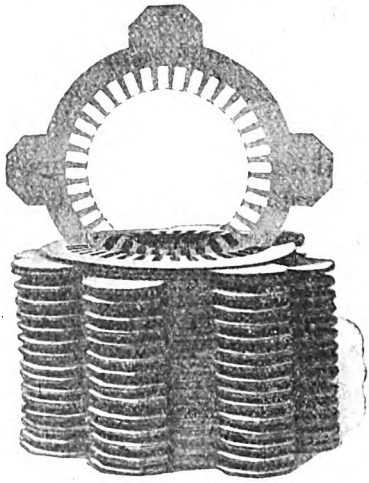


Fig. 4.

dispositifs, représenté à titre d'exemple par les figures 4, 5, 6, 7, réserve sur un grand nombre de tôles des surfaces de refroidissement latérales, partielles, mais multiples et d'étendue totale considérable.

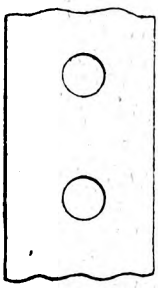


Fig. 5.

Fig. 6.

Tôles système Ehrmann.

Les dispositifs correspondant sont brevetés en France, en Angleterre, aux Etats-Unis, en Allemagne, etc... et appliqués depuis plusieurs années à deux catégories de moteurs fermés à double enveloppe, utilisés, les uns dans des locaux humides ou poussiéreux, les autres dans des mines grisouteuses.

Les essais effectués sur ces machines ont permis de vérifier nette-

Digitized by Google

ment les avantages dus aux dispositifs que nous préconisons et qui peuvent se résumer ainsi :

1° Refroidissement intense à cœur;

2° Uniformité des températures;

3° Réduction des pertes par ventilation;

Ils ont pour conséquence :

a) Bonne utilisation des matières actives, prix et encombrement réduits;

b) Sécurité de conservation des isolants;

c) Augmentation du rendement.

Ces mêmes avantages semblent pouvoir se retrouver, à des degrés

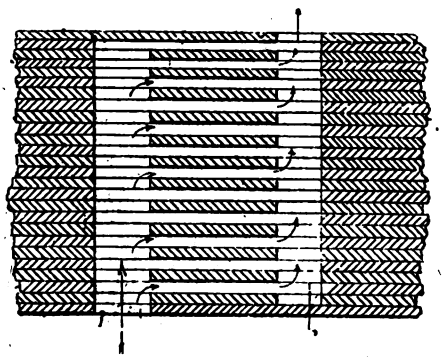


Fig. 7.

divers dans l'application *appropriée* de ce genre de dispositifs dans différentes parties d'un programme de construction électrique et, à titre d'exemple, dans le domaine de la *traction* :

Pour des raisons principalement de poids et d'encombrement, la tendance actuelle paraît s'orienter vers l'utilisation de moteurs ventilés.

Cependant, pour les moyennes et faibles puissances des moteurs de tramways, tout au moins, l'emploi de machines complètement fermées semble devoir persister.

Dans ce genre d'application, les essais précis effectués nous donnent une quasi certitude relative à la possibilité d'augmenter très sensiblement la puissance unihoraire des moteurs de traction normaux actuellement utilisés.

M. Belfils. — La remarque de M. Ehrmann vient à l'appui

Digitized by Google

de notre thèse, et je suis bien d'accord avec lui que si la transmission de la chaleur se fait longitudinalement dans les tôles on peut, tant que les lignes de chaleur ne sont pas trop longues, réaliser un excellent refroidissement par la surface extérieure des tôles. Mais il ne faut pas oublier que si la dissipation a lieu par l'extérieur, pour des pertes uniformément réparties dans la couronne, la chute de température assurant la transmission de la chaleur varie comme le carré de la distance parcourue par les lignes de chaleur, c'est pourquoi la disposition consistant à amener l'air frais aux points de densité maximum de pertes et à concentrer dans ces régions une grande partie de la surface de dissipation, conserve tout son intérêt dans les machines de grande dimension.

M. Roth. — Je voudrais d'abord répondre aux intéressantes observations de M. Langlois. J'ai fait remarquer dans l'introduction de mon travail, que les formules que j'ai développées ne pouvaient pas être d'un usage quotidien et j'ai ajouté que le but pratique de ce travail était de donner à l'ingénieur le moyen d'étudier certains cas spéciaux, et surtout de lui permettre d'examiner la valeur des formules approximatives dont il a l'habitude de se servir.

Mais du point de vue de la science pure, nous n'avons pas à nous préoccuper de la complication plus ou moins grande d'une solution; elle est ce qu'elle est et nous devons la rechercher dans toute sa rigueur. Ce n'est qu'en approfondissant leur étude et en poussant le plus loin possible leur investigation théorique, que nous arrivons à connaître la vraie nature des phénomènes; les conclusions pratiques en découleront toutes seules.

Il y a assez longtemps que je m'occupe de construction électrique, pour savoir qu'il ne sera jamais possible de tout calculer et qu'une part très large sera toujours laissée à l'intuition, au savoir faire et à l'expérience de l'ingénieur, et il est heureux qu'il en soit ainsi. Il comparera toujours les résultats de ses calculs avec les constatations qu'il fera sur la machine terminée, ne serait-ce que pour en déduire les valeurs pratiques de certains coefficients, et ces valeurs mériteront d'autant plus de confiance, qu'il aura fait moins d'hypothèses dans ses calculs. Ceci s'applique particulièrement à notre cas, car comme le fait justement remarquer M. Langlois, il y a beaucoup de coefficients dans le problème de l'échauffement des machines électriques. C'est ainsi que nous avons pu déduire des deux expériences citées dans ce travail toute une série de coefficients, tels que les conductibilités

Digitized by Google

thermiques des tôles et des fils isolés, ainsi que différentes valeurs de coefficients d'émission de chaleur. Ces valeurs méritent toute confiance, puisqu'il a été possible de comparer les températures mesurées avec des températures calculées par une méthode rigoureuse.

Je remercie MM. MAILLOUX et DARRIEUS pour les observations qu'ils ont bien voulu présenter dans le même sens.

M. MAILLOUX a absolument raison de dire que l'introduction des fonctions cylindriques sera nécessaire. J'ai fait remarquer à la fin de mon travail que lorsqu'on voudra s'occuper de la question dans toute sa généralité, on sera, par la forme même des machines électriques, amené à des fonctions cylindriques.

Enfin je remercie M. PERRIN de ses observations intéressantes : elles me seront très utiles dans l'avenir.

J'ajouterai quelques mots au sujet de la fonction

$$\sum\sum A \cos mx \cos ny,$$

ou plus généralement

$$\sum\sum A \cos (mx + \varphi) \cos (ny + \psi)$$

qui est l'intégrale générale de l'équation de POISSON.

Dans le calcul de l'échauffement de la colonne de transformateur ou de la bobine inductrice, j'ai admis que les pertes, ou les sources de chaleur, étaient uniformément réparties sur toute la section, et que la valeur de β, ou des pertes w par unité de volume, était une constante. Or, cela n'est pas nécessaire; les sources de chaleur peuvent être réparties d'une façon quelconque et discontinue sur la section considérée, et la valeur des pertes par unité de volume peut être variable d'un point à l'autre; à condition que les sources aient la forme de rectangles, à faces parallèles aux côtés de cette section, la solution sera encore donnée par la série double ci-dessus. Les coefficients d'émission de chaleur peuvent être différents sur les quatre faces, mais il est nécessaire que la conductibilité thermique soit la même dans toute la section considérée.

Cette dernière condition exclut la solution pour des problèmes thermiques, car la conductibilité des sources de chaleur, qui sont du cuivre ou du fer, est différente de celle des isolants qui entourent les parties métalliques, mais cette solution conserve toute sa valeur dans

Digitized by Google

d'autres domaines de la physique. J'ai démontré dans un article paru dans la *Revue générale de l'Electricité* du 17 septembre 1927, qu'elle était aussi valable pour le calcul du potentiel vecteur d'un champ magnétique, à condition que la perméabilité soit constante dans l'enceinte considérée. J'ai appliqué la méthode à l'étude analytique du tracé des lignes de force dues au champ propre d'une encoche de machine électrique, et pour l'instant je suis en train de l'étendre à l'étude de la répartition des lignes de force du champ de fuites des transformateurs et au calcul des efforts exercés sur les enroulements.

Pour la solution du problème thermique, de nouvelles difficultés se présentent du fait des conductibilités différentes des matières. Sans connaître la solution générale, on peut tout de même prévoir de quelle forme sera la fonction qui la représente, en choisissant le cas d'une seule dimension.

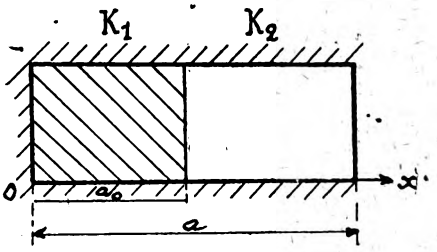


Fig. 8.

Une barre infiniment longue est isolée sur trois de ses faces (fig. 88); si tout l'espace d'abscisse a_0, de conductibilité thermique K_1, est soumis à des pertes w constantes par unité de volume, la répartition de la température n'est fonction que de l'abscisse x. Nous admettons d'autre part, que la partie extérieure est constituée par un isolant de conductibilité thermique K_2, et enfin que la face d'abscisse a est constamment maintenue à la température zéro.

C'est l'extension du problème du mur du § 6, p. 29; on trouve aisément que la courbe f (fig. 9 a) représentant la température est une parabole entre 0 et a_0 et une droite entre a_0 et a, les tangentes aux deux courbes au point $x = a_0$ étant dans le rapport $\frac{K_1}{K_2}$. En développant en série de Fourier, on trouve pour la température θ la fonction

$$\theta = \frac{2}{b}\frac{w}{K_1}\sum_{i=1}^{\infty}\left[\frac{\sin m_i a_0}{m_i^3} + \left(\frac{K_1}{K_2} - 1\right)a_0\frac{\cos m_i a_0}{m_i^2}\right]\cos m_i x.$$

Digitized by Google

Lorsque $K_2 = K_1$ on a

$$\theta_1 = \frac{2}{b} \frac{w}{K_1} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin m_i a_0}{m_i^3} \cos m_i x.$$

Cette dernière fonction est donnée par la courbe f_1 de la figure 9*a*; elle représente la température que l'on aurait si la conductibilité avait la même valeur K_1 partout; c'est donc une fonction poissonnienne. Sa dérivée seconde doit être égale, au signe près, à $\frac{w}{K_1}$ entre 0 et a_0, et égale à zéro entre a_0 et a. Ceci est exact, en effet, la dérivée première

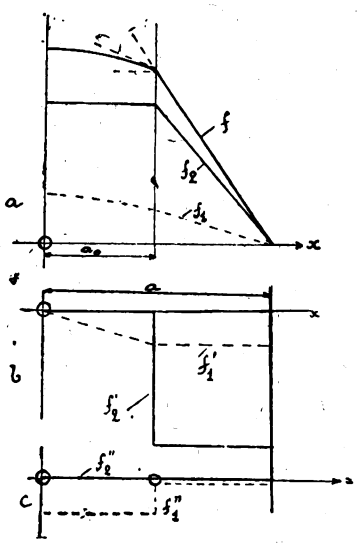


Fig. 9.

f_1' de f_1 est composée d'une droite inclinée, dérivée de la parabole, et d'une constante, dérivée de la droite. La dérivée seconde f_1'' est donc une constante entre 0 et a_0, et est zéro entre a_0 et a.

La fonction θ est la somme de la fonction θ_1 et d'une fonction θ_2 donnée par

$$\theta_2 = 2 \frac{a_0}{b} \frac{w}{K_1} \left(\frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\cos m_i a_0}{m_i^2} \cos m_i x.$$

Elle doit être une fonction laplacienne, c'est-à-dire que sa dérivée seconde doit être zéro entre 0 et a. Elle est représentée par le trapèze f_2, dont la dérivée première f_2' est zéro entre 0 et a_0, et est une constante entre a_0 et a. Sa dérivée seconde f_2'', qui est, à un facteur constant près, donnée par la fonction

$$\sum_{i=1}^{\infty} \cos m_i a_0 \cos m_i x.$$

Digitized by Google

est donc zéro entre 0 et a_0, et également zéro entre a_0 et a, mais elle présente un point singulier pour $x = a_0$ où sa valeur est infinie. Pour $x = a_0$ on a, en effet, pour cette fonction l'expression

$$\sum_{i=1}^{\infty} \cos^2 m_i a_0,$$

dont la valeur est infinie.

Les solutions des problèmes de la répartition de la température, dans lesquels entrent des conductibilités différentes, seront donc données par la somme de deux fonctions, dont la première représente la valeur de la température qui existerait si la conductibilité était la même dans tout le domaine considéré, et dont la deuxième est une fonction dont la somme des dérivées secondes est zéro dans tout le domaine mais infinie le long des contours qui séparent les régions de conductibilités différentes.

Une fois cette solution trouvée il y aura un grand pas de fait vers la solution générale, qui doit, comme il a été dit, être exprimée en fonctions cylindriques. Espérons qu'il me sera possible de vous la présenter en 1930, à l'occasion du centenaire de la mort de FOURIER.

M. POMEY. — La légitimité des opérations faites par FOURIER a quelquefois été mise en doute. L'étude critique en a été justement faite par POINCARÉ, d'une façon tout à fait approfondie dans son livre intitulé *La propagation de la chaleur*, où se trouvent données des justifications parfois plus difficiles que la découverte de la solution elle-même.

NOTE COMPLÉMENTAIRE DE M. POMEY.

Les problèmes d'équilibre de température du genre de ceux que M. ROTH a résolus se trouvent traités au moyen des équations intégrales par MM. HEYWOOD et FRÉCHET dans leur ouvrage intitulé : *l'équation de Fredholm et ses applications à la physique mathématique*. Cependant, il y a une grande différence entre la solution complète et facilement calculable de M. ROTH et une méthode qu'il resterait à expliciter, c'est pourquoi la présente observation n'a aucunement pour effet de diminuer le mérite des travaux de M. ROTH que M. POMEY est le premier à admirer. Cependant comme la méthode de Fredholm, qui a justement été imaginée pour donner une solution générale et rigoureuse au problème de DIRICHLET, ne semble pas avoir beaucoup tenté les électriciens, M. POMEY croit utile d'appeler l'attention sur elle.

Digitized by Google

Quand il s'agit du problème de l'équilibre de température, la température W doit satisfaire à une équation de la forme :

$$\Delta W(M) = R(M).W(M) + R_1(M) \tag{1}$$

en désignant par W(M) la température du point M et par R(M) et $R_1(M)$ deux fonctions données du point M. Cette équation doit être satisfaite à l'intérieur de la masse où il y a des dégagements de chaleur causés par exemple par les courants et d'autre part, à la surface de cette masse, la température W doit satisfaire à la loi de Newton ou si l'on veut, plus généralement à une équation de la forme (dn_i est l'élément de la normale dirigée vers l'intérieur, par exemple)

$$\frac{dW}{dn_i} + p(M)W = h(M). \tag{2}$$

Ici, non seulement on envisage le cas dissymétrique de LAMÉ, mais encore celui où le coefficient p est variable suivant le point de la surface considérée.

La solution peut être esquissée de la façon suivante :

Je poserai, G(M, P) étant une fonction de GREEN convenable et V une fonction à déterminer :

$$W_M = -\frac{1}{4\pi}\int G(M,P)[R(P).W(P) + R_1(P)]d\omega_P + V_M, \tag{3}$$

$d\omega_P$ étant l'élément de volume entourant le point P quelconque du champ, G(M, P) sera une fonction de GREEN convenablement choisie. Cette fonction ne diffère de

$$\frac{1}{MP} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{r}$$

que par une fonction harmonique et par suite, on a :

$$\Delta W = R(M)W + R_1(M) + \Delta V_M \tag{4}$$

Je poserai alors pour déterminer V

$$\Delta V = 0. \tag{4'}$$

J'aurai d'autre part à la surface :

$$\frac{dW}{dn_i} + p(M)W - h(M) = -\frac{1}{4\pi}\int\left(\frac{dG}{dn_i} + p(M)G\right)[RW + R_1]d\omega_P + \frac{dV}{dn_i} + p(M)V - h(M) \tag{5}$$

Je satisferai donc à l'équation (2), si j'ai :

$$\frac{dG}{dn_i} + p(M)G = 0, \qquad \frac{dV}{dn_i} + p(M)V = h(M). \tag{6 et 6'}$$

Digitized by Google

On voit donc qu'il faut trouver une fonction de GREEN satisfaisant à l'équation (6) et une fonction dV harmonique, satisfaisant à l'équation (6').

Occupons-nous de V, tout d'abord.

A cet effet, posons

$$V_M = \int \frac{\rho(P)}{r}\, dS_P \quad (dS_P \text{ élément de surface en P}), \tag{7}$$

ρ(P) étant une certaine charge électrique répartie sur la surface (S); on aura à l'intérieur du volume

$$\Delta V = 0. \tag{4'}$$

conformément à l'équation (4'). Il faudrait, de plus, satisfaire à l'équation (6'). Or, si l'on désigne par dn_e, dn_i, les éléments de la normale dirigés vers l'extérieur ou vers l'intérieur respectivement, et si ψ désigne l'angle de dn_e en M avec MP, on a, comme il est bien connu par la théorie du potentiel

$$\frac{1}{2}\left(\frac{dV}{dn_e} - \frac{dV}{dn_i}\right) - 2\pi\rho(M) = 0. \tag{8}$$

$$\frac{1}{2}\left(\frac{dV}{dn_e} + \frac{dV}{dn_i}\right) - \int \frac{\rho(P)}{r^2} \cos\psi dS = 0, \tag{8'}$$

d'où en éliminant $\frac{dV}{dn_e}$,

$$\frac{dV}{dn_i} + 2\pi\rho(M) - \int \frac{\rho(P)}{r^2} \cos\psi dS = 0, \tag{9}$$

remplaçons dans (9) $\frac{dV}{dn_i}$ par sa valeur tirée de (6'), il vient

$$-p(M)V + h(M) + 2\pi\rho(M) - \int \frac{\rho(P)}{r^2} \cos\psi dS = 0, \tag{10}$$

remplaçons V par sa valeur (7), il vient pour déterminer ρ l'équation intégrale :

$$2\pi\rho(M) - \int \rho(P)\left(\frac{\cos\psi}{r^2} + \frac{p(M)}{r}\right) dS + h(M) = 0. \tag{11}$$

Nous la supposerons résolue, alors (7) donnera V(M).

Nous pouvons maintenant nous occuper de la détermination de G.

Or, G pour que l'équation (4) résulte de (3) doit être de la forme

$$G = \frac{1}{r} - u, \tag{12}$$

u étant une fonction harmonique, on aura donc

$$\Delta u = 0. \tag{13}$$

Digitized by Google

D'autre part, à la surface, on devra avoir l'équation (6), c'est-à-dire :

$$\frac{du}{dn_i} + p(\mathrm{M})u = \frac{d}{dn_i}\left(\frac{1}{r}\right) + p(\mathrm{M})\frac{1}{r}. \tag{14}$$

Le point P occupant une certaine position arbitraire dans le champ, une fois que P est fixé, le second membre de (14) devient une fonction bien déterminée de M. Par suite, u est une fonction de M et de P, qui, en tant que fonction de M, satisfait aux deux équations (13) et (14); ce sont les mêmes équations auxquelles V devait satisfaire, avec cette différence que $h(\mathrm{M})$ est remplacé par :

$$\frac{d}{dn_i}\left(\frac{1}{\mathrm{MP}}\right) - p(\mathrm{M})\frac{1}{\mathrm{MP}}. \quad \text{Soit } h_1(\mathrm{M}) \text{ cette fonction.}$$

Donc la fonction u sera déterminée comme le potentiel d'une simple couche dont la densité σ satisfera à une équation intégrale analogue à (11) où $h(\mathrm{M})$ sera remplacé par $h_1(\mathrm{M})$.

$$2\pi\sigma(\mathrm{M}) - \int \sigma(\mathrm{P})\left(\frac{\cos\psi}{r^2} + \frac{p(\mathrm{M})}{r}\right)dS + h_1(\mathrm{M}) = 0. \tag{15}$$

En résumé, la détermination de G et de V dépend de la résolution des deux équations intégrales (11) et (15), après quoi, la détermination de W, qui est notre inconnue, dépend de la résolution de l'équation intégrale (3) en W(M).

Ce que nous venons de faire, c'est donc la mise en équation du problème, quand on veut le ramener à la théorie supposée connue de la résolution des équations intégrales.

Il y a lieu de faire une autre remarque sur le développement en série de FOURIER.

Ce développement peut se mettre sous la forme :

$$f(x) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(1 + 2\sum_1^{\infty}\cos n(y-x)\right)f(y)dy.$$

La fonction

$$u = 1 + 2\sum_1^{\infty}\cos n(y-x),$$

est représentée par une série divergente, puisque le terme général ne tend pas vers zéro. Néanmoins, HEAVISIDE envisage cette fonction dans le tome II de *Electro-magnetic theory* et il fait observer qu'elle se comporte comme une fonction qui serait nulle partout sauf pour une valeur de y, où u devient infinie, mais de telle sorte que $\int u dy$ est égal à l'unité.

Digitized by Google

On conçoit d'ailleurs qu'il soit possible de donner à u diverses formes analytiques.

Par cette méthode, HEAVISIDE obtient justement la formule de FOURIER et lui donne en quelque sorte un sens physique, la valeur $f(x)$ ressort seule parce que seule elle est touchée par une impulsion

$$\int_{x=0}^{x=\varepsilon} u\,dy = 1.$$

Il semble bien résulter de cela que M. ROTH a retrouvé dans son étude approfondie de la série de FOURIER, les mêmes considérations qu'a développées HEAVISIDE.

La résolution de l'équation des potentiels retardés a de même été donnée par LORENTZ en employant une fonction d'impulsion.

Il paraît possible sans trop de difficulté, de démontrer la convergence uniforme des séries obtenues par M. ROTH.

Il faut, en effet, montrer que la fonction représentée par la série obtenue, satisfait à l'équation différentielle et aux conditions aux limites. Or, la série obtenue en prenant la somme des dérivées des différents termes ne représentera à coup sûr la dérivée de la fonction que si la convergence est uniforme.

On trouvera à cet égard, tous les éclaircissements désirables dans le livre de H. POINCARÉ, intitulé *La propagation de la chaleur.*

Il faut se méfier, en effet, des fonctions représentées par des développements en série, c'est ainsi que la série absolument et uniformément convergente et continue

$$\sum \frac{\sin(n!\,x)}{n!}$$

n'a pas de dérivée, car, si elle en avait une on pourrait l'obtenir par dérivation terme à terme, et l'on arrive ainsi à la série divergente :

$$\sum \cos(n!\,x).$$

Cet exemple est de M. DARBOUX.

M. ROTH. — On a quelquefois reproché à FOURIER, comme à d'autres physiciens de la même époque, un manque de rigueur dans ses développements. Mais il avait du génie, et les résultats de ses développements ont toujours été reconnus exacts. Je remercie M. POMEY de ses observations ; j'ai omis de parler tout à l'heure de la convergence de ces séries. Elles sont toujours convergentes, plus ou moins rapidement selon le cas et il doit en être ainsi, si elles doivent repré-

Digitized by Google

senter un phénomène physique. Mais cette certitude philosophique n'est pas une démonstration mathématique. Je me suis donc consolé avec une autre parole de POINCARÉ qui dit « qu'en physique mathématique, on introduit un grand nombre de développements en séries. Ces développements convergent, personne n'en doute; mais la certitude mathématique fait défaut ».

M. GROSSELIN donne lecture d'une lettre de M. LE MONNIER s'excusant de ne pouvoir venir présenter son rapport sur « *la signification physique de la tension de réactance dans les machines à champ tournant* » (1).

M. BELFILS. — Dans son intéressante communication, M. LE MONNIER vient de nous faire connaître les conséquences des imperfections de la courbe du champ de réaction.

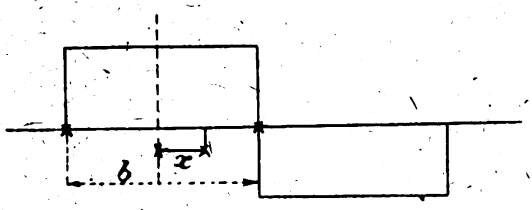


Fig. 10.

En ce qui concerne la tension de réactance du stator, il est amené à conclure qu'à la tension de réactance V_1 des flux de fuite, s'ajoute une autre tension de réactance V_2 due aux harmoniques du champ de réaction.

On peut se demander quel peut être pratiquement l'ordre de grandeur de V_2 par rapport à V_1. Considérons un cas très simple d'une machine triphasée à une encoche par pôle et phase bobinée au pas normal.

L'onde de la force magnétomotrice rectangulaire produite par un courant $I \cos \omega t$ circulant dans les n conducteurs d'une encoche, est à une distance x de l'axe de la bobine :

$$\mathcal{F}_1 x = \frac{4}{\pi} \frac{n}{2} I_{max} \cos \omega t \sum_0^\infty \frac{1}{2K+1} \cos (2K+1) \frac{\pi}{\tau} x.$$

La force magnétomotrice totale agissant en x s'obtiendra en ajou-

(1) Bulletin de la Société Française des Electriciens, Tome VII, 4e série, juin 1927, p. 710.

Digitized by Google

tant à $\mathcal{F}_1$ les forces magnétomotrices $\mathcal{F}_2$ et $\mathcal{F}_3$ produites par les deux autres phases. En effectuant cette addition, on constatera que les forces magnétomotrices d'harmoniques 3 et multiples de 3 s'annulent.

Les autres donnent naissance à des champs tournants d'amplitude décroissante avec le rang de l'harmonique et le nombre de pôles $(2K+1)2p$. Quand le rang de l'harmonique $2K+1$ est un multiple de trois moins un, le champ correspondant tourne en sens inverse du champ tournant fondamental ; quand $2K+1$ est un multiple de trois plus un, le champ tourne dans le sens du champ tournant fondamental. Notons, en outre, que ces champs sont à la fréquence fondamentale et leur vitesse de pulsation est donc : $\frac{\omega}{(2K+1)p}$; il est aisé de voir en conséquence que les tensions qu'ils induisent dans une spire du stator sont, à amplitude égale, en raison inverse du

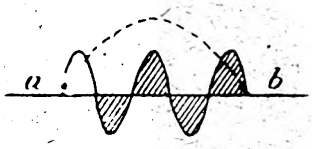


Fig. 11.

rang de l'harmonique, car cette spire n'embrasse qu'une demi onde résultante du flux harmonique quel que soit son rang, ainsi qu'il est aisé de le voir sur la figure 11.

La fraction de la tension induite V_2 due à l'harmonique du champ $2K+1$ sera donc $\frac{1}{(2K+1)^2}$ de la tension du champ fondamental.

Nous voyons donc que, même dans le cas d'un champ à grande fluctuation engendrée dans une machine à une seule encoche par pôle et phase, les termes composant E_2 sont très réduits.

En passant aux cas pratiques des machines possédant plusieurs entailles par pôle et phase, on peut voir facilement que le rapport du terme de rang $2K+1$ de la tension V_2 à la tension due au champ tournant fondamental est :

$$\frac{V_{2(2K+1)}}{V_0} = \frac{1}{(2K+1)^2}\left(\frac{f_{(2K+1)}\, f'_{(2K+1)}}{f_1 f'_1}\right)^2.$$

Les facteurs tels que f étant les facteurs d'enroulement provenant de la répartition polygonale des encoches et dépendant du nombre de phases, du nombre d'encoches par pôle et phase et du rang de

Digitized by Google

l'harmonique. Les facteurs f' sont les facteurs fonction du pas de l'enroulement et varient aussi avec le rang de l'harmonique.

En ce qui concerne plus particulièrement les premiers, ils sont assez voisins de l'unité pour les harmoniques de rang immédiatement voisin du nombre d'entailles par paire de pôles, mais dans ce cas le terme $\left(\frac{1}{2K+1}\right)^2$ est très faible; par exemple dans le cas d'une machine triphasée à 3 entailles par pôle et phase, les rapports $\frac{E_{(2K+1)}}{E_0}$ s'échelonnent en fonction du rang de l'harmonique du champ de la façon suivante :

$2K+1$	1	5	7	11	13	17	19	23
rapport $\frac{E_{(2K+1)}}{E_0}$	1	0,0087	0,0036	0,00146	0,00044	0,0033	0,00208	0,00041

Nous voyons donc que, pratiquement, les tensions de réactance dues aux harmoniques du champ sont toujours très faibles devant la tension induite par le champ tournant fondamental. En passant au fonctionnement normal des machines, les rapports précédents doivent évidemment être multipliés par le rapport du courant en charge au courant magnétisant, rapport de 3 ou 4 au plus dans une machine asynchrone, toujours inférieur à ces valeurs dans une machine synchrone.

Nous voyons donc que la tension de réactance due aux imperfections du champ de réaction est pratiquement très faible, même dans le cas d'un rotor ne possédant qu'un enroulement dont les spires embrassent tout le pas polaire ou une fraction voisine ; si le rotor est muni d'une cage d'écureuil, il est évident que cette dernière étouffera ces champs parasites et c'est bien là, ainsi que M. Le Monnier l'a signalé, l'origine des phénomènes de rampage au démarrage des moteurs asynchrones.

Si nous passons maintenant à la question des pertes dues aux champs parasites, nous croyons que trois cas bien distincts sont à considérer :

1° Dans le cas des machines asynchrones, comme nous l'avons vu plus haut, l'importance relative de ces champs est plus grande que dans les machines synchrones : mais, dans ce cas, le rotor est feuilleté; or, M. Roth nous a montré l'an dernier que l'on pouvait déformer notablement une courbe de champ sans augmenter les pertes considérablement; il faut arriver à une déformation notable pour que le coefficient de surpertes devienne important. Aussi, sans nier l'existence de ces pertes dans les machines asynchrones, nous croyons qu'elles n'ont qu'une importance relative. Si nous passons maintenant de la

Digitized by Google

machine asynchrone à la machine asynchrone synchronisée, nous allons évidemment les réduire puisque l'entrefer sera augmenté ; mais, en même temps, nous serons amenés à réduire le nombre d'encoches du rotor de façon à loger les ampèretours inducteurs considérablement accrus par rapport à ceux du moteur asynchrone pur.

Les imperfections de la courbe du champ inducteur seront, dans ces conditions, bien supérieures aux imperfections du champ de réaction d'induit et nous verrons croître les pertes dans le fer et surtout les pertes dans le cuivre du rotor ; ces deux augmentations seront certainement supérieures à la réduction des pertes parasites dues au champ de réaction d'induit et il est probable que le moteur asynchrone synchronisé doit avoir un rendement plus faible que le moteur asynchrone compensé.

2° Si, maintenant, nous passons au cas des moteurs synchrones à inducteur non lamellé, malgré la réduction des champs parasites due au grand entrefer motivé par la stabilité, ils peuvent évidemment, ainsi que nous l'avons déjà signalé, être le siège de pertes dues à ces champs, relativement importantes, mais ne constituant néanmoins qu'une faible partie des pertes supplémentaires totales : la présence d'une cage d'écureuil à faible pas dentaire sur l'inducteur les réduira, mais nous continuons à penser qu'il est relativement aisé de choisir des moyens qui, tout en assurant une forme parfaite de la tension, assurent la production d'un champ de réaction tournant également sans fluctuations appréciables. Ainsi, l'emploi d'un nombre d'entailles impair par paire de pôles et par phase, ne peut que donner de bons résultats, à la condition évidente que chaque encoche contienne deux faisceaux de conducteurs induits de façon que le nombre de faisceaux par pôle et phase soit le même sous tous les pôles. Il est facile de voir que, dans ce cas, l'amplitude des harmoniques de champ pair est comprise entre les amplitudes des harmoniques de champ impair d'ordre immédiatement inférieur et supérieur obtenu avec les nombres d'entailles pairs par paire de pôles les plus voisins.

3° Il en est de même pour le pas raccourci ; il est bien établi que le raccourcissement du pas de $\frac{1}{2K+1}\tau$ annule les harmoniques de la tension induite d'ordre $2K+1$ dus aux champs inducteurs ainsi que les harmoniques du champ de réaction de ce même ordre ; mais, pour que la disposition soit parfaite au point de vue des pertes supplémentaires, il est également nécessaire d'avoir deux faisceaux

Digitized by Google

induits par encoche, de façon à éviter les dentelures dans la courbe du champ de réaction provenant de l'entrecroisement d'encoches appartenant à des phases différentes. Si, au contraire, on a deux faisceaux induits par encoche, le raccourcissement du pas introduira entre des encoches appartenant à 2 phases successives, des encoches appartenant à deux phases différentes ce qui adoucira les angles de la courbe de force magnétomotrice. Ces dispositions apportent une amélioration notable et plus sensible d'ailleurs dans une machine diphasée que dans une machine triphasée.

M. DARRIEUS. — Les critiques que je me proposais de présenter au travail de M. LE MONNIER s'il avait pu être parmi nous se seraient bornées à rappeler que le sujet a déjà été traité assez complètement il y a deux ans, et notamment à remettre encore une fois en mémoire le travail d'un caractère si clair et définitif que M. BOUCHEROT a présenté à la Société sur les coefficients d'inductance en 1910. Cependant, nous devons accorder à M. LE MONNIER que cette dispersion que l'on appelle communément dispersion en zigzag, est une réalité, tout en concédant à M. BELFILS qu'il ne faut pas en exagérer l'importance. Nous mentionnerons toutefois un cas où ce phénomène est assez accentué ; il s'agit de machines asynchrones à collecteur dans lesquelles les têtes de bobines sont des hélices disposées en manteaux concentriques assez rapprochés.

Supposons que le nombre d'encoches soit grand. Dans ces conditions, le long de l'entrefer, nous aurons successivement les conducteurs de la phase 1, puis le retour de la phase 3 que nous désignerons par — 3, la phase 2, etc...Si nous supposons que les phases du rotor présentent la même disposition et que les points de coupure des phases se correspondent, l'expérience montre que le coefficient de dispersion entre le stator et le rotor peut être excessivement faible, de l'ordre de ceux que présentent les transformateurs : par contre, si l'on fait tourner le rotor d'un sixième de pas polaire de manière que les points de passage d'une phase à l'autre sur le stator correspondent au milieu des nappes correspondantes du rotor, même si les ondes fondamentales se neutralisent, par exemple dans le fonctionnement en court-circuit, la présence des harmoniques 5 et 7 notamment, donne lieu à une dispersion supplémentaire en zigzag très sensible par rapport à la dispersion ordinaire, qui est bien exclusivement le fait de ces harmoniques du champ et qu'il n'est possible de réduire qu'en adoptant un pas raccourci d'un sixième de pas polaire, qui annule presque ces harmoniques 5 et 7.

Digitized by Google

MM. Langlois et Létrillart s'étant excusés, M. le Président rappelle leur rapport sur *le fonctionnement en régime amorcé d'une génératrice asynchrone isolée* (1).

M. Belfils, présente au nom de M. Berger, la note suivante.

En dehors du cas particulier d'auto-amorçage d'une machine polyphasée à collecteur, dont le collecteur est fermé sur l'enroulement statorique, soit directement ou par le jeu d'un transformateur, avec ou sans intercalation d'une impédance supplémentaire, la Société Al-

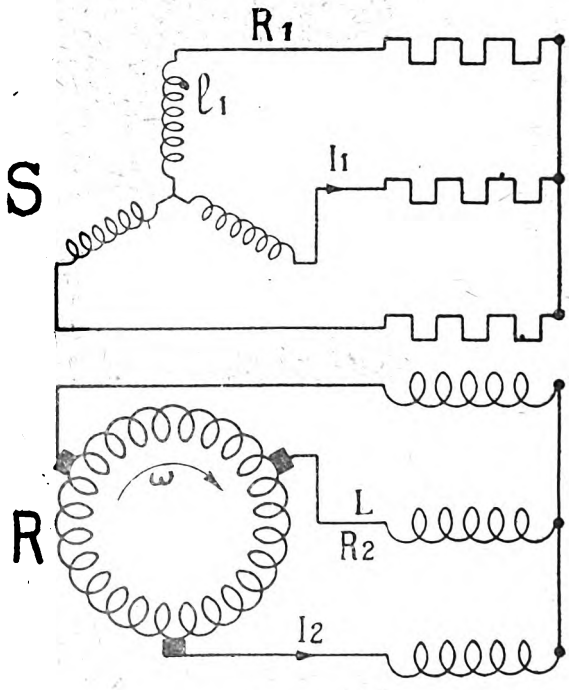


Fig. 12.

sacienne de constructions mécaniques a également expérimenté le montage suivant, signalé en 1903 par M. Gratzmuller à la Société française des Electriciens, dont elle a fait plusieurs applications industrielles sur les conseils de M. Bethenod.

Le stator S de la machine est fermé sur des résistances ohmiques extérieures de valeurs fixes ou réglables et son rotor R est réuni par les balais à des bobines de self-inductance qui peuvent être également de valeurs fixes ou réglables (fig. 12).

(1) Bulletin de la Société Française des Electriciens, tome VII, 4e série, septembre 1927, n° 73, p. 973.

Digitized by Google

En désignant pour le stator par R_1 la résistance ohmique totale par phase et par l_1 le coefficient de self-inductance correspondant aux fuites ; de même pour le rotor, R_2 désignant la résistance ohmique et L le coefficient de self-inductance (L comprend la self-inductance de la bobine extérieure et celle correspondant aux fuites du rotor), si l'on suppose connue la caractéristique à vide de la machine (fig. 13), on trouve l'auto-amorçage possible pour une vitesse de rotation

$$\omega \geqslant \frac{R_1(L+\lambda_0)+R_2(l_1+\lambda_0)}{R_1\lambda_0}\sqrt{\frac{R_1R_2}{L\lambda_0-\frac{R_2}{R_1}l_1(l_1+\lambda_0)}}$$

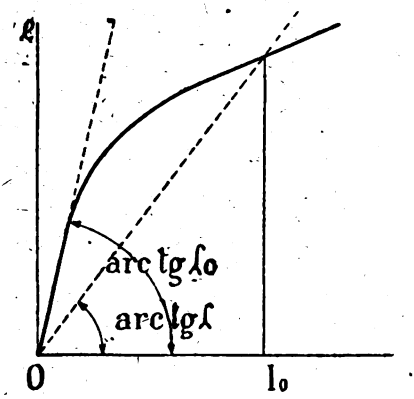


Fig 13.

La valeur sous le radical, correspond à la pulsation ω_1 des courants qui prennent naissances en régime :

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{R_1R_2}{L\lambda-\frac{R_2}{R_1}l_1(l_1+\lambda)}}$$

de sorte que, en auto-amorçage, $\omega > \omega_1$; c'est-à-dire que *la vitesse de rotation est hypersynchrone* par rapport à celle des champs tournants. On a donc aussi dans ce cas une des conditions mises en évidence par MM. Langlois et Létrillart, dans le cas particulier étudié par eux.

La caractéristique principale du montage indiqué est de rendre le fonctionnement *indépendant du calage des balais*, ce qui est évident *à priori* puisque les circuits statoriques S et rotoriques R sont électriquement indépendants. Ceci ne peut pas être obtenu avec les montages dans lesquels le stator et le rotor sont montés en série ou en shunt.

Le montage de la fig. 12, conserve évidemment ses propriétés si la résistance insérée au stator est réglable et peut même être supprimée,

Digitized by Google

auquel cas la résistance R_1 se réduit à la seule résistance ohmique de l'enroulement statorique, et si la self-inductance intercalée au rotor est constituée par l'enroulement secondaire d'un moteur asynchrone, on obtient alors un montage permettant de compenser le moteur asynchrone même en marche à vide, le glissement de celui-ci conservant une valeur faible car ω_1 est très petit.

La Société Alsacienne de constructions mécaniques a également contrôlé les propriétés d'auto-excitation d'une machine à pôles saillants ne possédant aucun enroulement sur ces pôles, pour un calage arrière

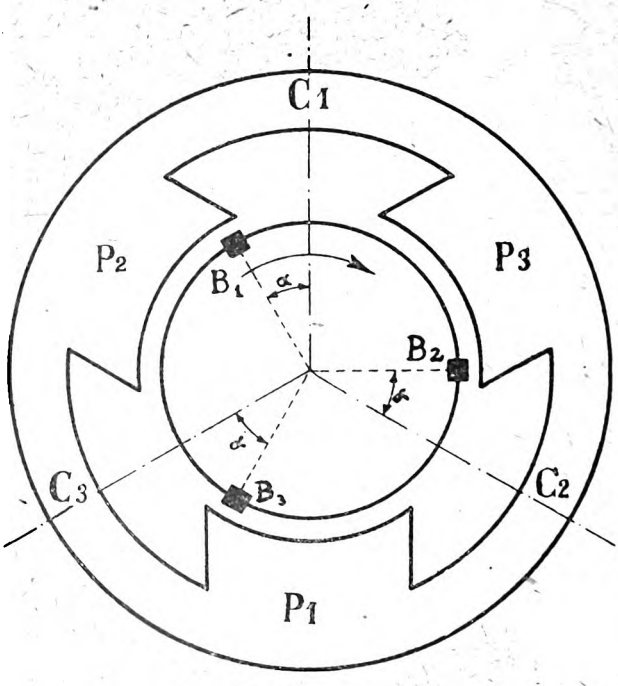


Fig. 14.

des balais, de même qu'une machine à courant continu s'auto-amorce pour un même décalage des balais.

Dans le cas d'une machine triphasée, possédant par conséquent 3 pôles saillants P_1, P_2, P_3, et 3 lignes de balais B_1, B_2, B_3, par onde (fig. 14) décalées d'un angle α en arrière de leur position théorique correspondant aux axes C_1, C_2, C_3, nous avons constaté un amorçage en courant alternatif triphasé, les balais étant fermés sur résistances.

La fréquence des courants prenant ainsi naissance est élevée et légèrement inférieure à celle donnée par la formule classique

$$f = \frac{pn}{60}$$

Digitized by Google

Il y a lieu de remarquer que de même qu'on éprouve parfois certaines difficultés pour amorcer une machine à courant continu, l'amorçage en courants alternatifs est encore plus difficile, certaines machines semblant susceptibles de perdre leur magnétisme rémanent en quelques heures.

M. Darrieus. — Est-ce que les difficultés d'auto-excitation ne sont pas à chercher ailleurs que dans l'insuffisance du rémanent, à savoir dans les propriétés mêmes du contact charbon et collecteur, qui est de la nature d'une tension plutôt que d'une résistance. Nous avons observé ainsi il y a quelques années sur un moteur triphasé à collecteur, un cas d'auto-excitation parasite qui, bien que les conditions du circuit fussent restées identiques, ne s'est manifesté qu'au bout de plusieurs semaines de service, parce qu'une surcharge accidentelle avait fait franchir au courant une valeur critique du point de vue de la tension de contact.

Mais si on shunte les balais par un contact métallique, il y aura toujours amorçage lorsque les conditions en sont réalisées, si faible que puisse être le rémanent.

M. Belfils. — Le contact glissant joue certainement un rôle très important dans tous les phénomènes d'auto-amorçage. Mais néanmoins dans le cas de machines à courants alternatifs où toutes les parties du circuit magnétique sont soumises en service normal à des cycles complets d'aimantation progressivement décroissants au moment de l'arrêt de la machine, il est probable que l'on se trouvera au moment d'une remise en service dans de plus mauvaises conditions au point de vue du rémanent que dans le cas d'une machine à courant continu dans laquelle une grande partie du circuit magnétique est massive et soumise normalement à un flux fixe s'éteignant lentement à l'arrêt.

M. Darrieus. — Ces plus mauvaises conditions peuvent se traduire par une paresse plus grande, mais non par une impossibilité.

M. le Président. — J'ai constaté autrefois, dans des machines d'électrolyse, une paresse d'amorçage excessivement grande, ce qui serait d'accord avec ce que disait M. Belfils, par manque de rémanence, mais dès qu'on faisait passer le courant d'une pile Leclanché, aussitôt la machine s'amorçait.

M. Belfils. — J'attire l'attention sur le fait que pour provoquer l'amorçage dans des cas rebelles, il suffit de faire circuler ainsi que

Digitized by Google

nous le signale M. LE PRÉSIDENT, un courant très minime dans les circuits d'excitation ce qui est équivalent à une augmentation du rémanent, qui joue certainement un rôle.

M. LE PRÉSIDENT. — La machine dont je parlais, c'était en 1891, tournait à une vitesse très peu supérieure à la vitesse critique.

D'ailleurs lorsqu'on admet un rémanent très faible, le calcul de la période d'amorçage montre qu'il faut un temps excessivement long pour atteindre une induction appréciable.

M. DE PISTOYE. — Peut-être y a-t-il quelquefois des difficultés d'amorçage ; cependant je n'en ai jamais rencontré sur les moteurs asynchrones excités par convertisseur de fréquence à collecteur.

Pour ces machines il y a comme pour les machines à courant continu excitées en dérivation, une vitesse critique d'amorçage. Au delà de cette vitesse, l'amorçage se produit en général très facilement, bien que le rémanent doive être faible puisque le circuit magnétique, en tôles à faible hystérésis, est tout entier parcouru par un flux alternatif. J'ai même été obligé de prendre des dispositions pour empêcher l'amorçage de génératrices de ce genre, pendant la mise en marche, ce qui provoquait des couplages en discordance de phase.

M. BELFILS. — Il est bien certain que si dans le circuit d'amorçage il pouvait ne pas exister de contact glissant, cet amorçage se produirait dès que les conditions requises de constantes des circuits et de vitesse seraient réalisées et si faible que soit la tension de rémanence. Il semble, pour résumer, bien difficile d'approfondir cette question, mais je crois pouvoir insister sur le fait que la tension de rémanence est bien plus réduite, toutes choses égales, dans les machines asynchrones que dans les machines à courant continu, l'influence du contact glissant étant la même dans les deux cas.

M. DE PISTOYE. — Dans les machines de petite puissance, nous avons observé en charge normale 10 volts aux balais sur lesquels on peut admettre qu'il y en a deux ou trois qui sont dus à la chute de tension aux balais : malgré tout, la machine ne s'amorçait que trop facilement.

M. LE PRÉSIDENT. — Les machines shunt s'amorcent très facilement.

M. BELFILS. — Nous avons une machine à circuit complètement séparé.

Digitized by Google

M. LE PRÉSIDENT. — Il semble résulter de ceci que la question demande à être approfondie.

M. BELFILS présente le rapport de M. RICALENS sur *la forme d'onde de la tension en charge dans les alternateurs* (1).

M. FALLOU. — M. RICALENS accuse les réseaux sur lesquels débitent les alternateurs, de constituer la cause principale du développement en charge des harmoniques de la courbe de tension. Je crois que l'on peut démontrer inversement que ces réseaux, surtout lorsqu'ils sont chargés, introduisent des causes d'amortissement qui rendent illusoire la crainte d'un développement excessif de ces harmoniques.

En se plaçant au point de vue des harmoniques, on peut schématiser un réseau fonctionnant à vide comme un circuit constitué par un alternateur dont la force électromotrice possède l'amplitude et la pulsation $n\omega$ de l'harmonique considéré, et qui débite à travers une réactance $ln\omega$ et une résistance r sur la capacité des lignes. On sait alors que le coefficient de surtension est $\frac{ln\omega}{r}$.

J'ai eu l'occasion d'effectuer des mesures directes de ce coefficient de surtension à vide, sur le réseau de l'Union d'Electricité qui se présente à cet égard dans des conditions apparemment très défavorables. Ce réseau est en effet équipé avec des machines dont la réactance est volontairement hypertrophiée en vue de limiter les courants instantanés de court-circuit et d'autre part ces machines très puissantes ont un rendement élevé. Si l'on calcule effectivement le coefficient de surtension à vide en ne tenant compte que des résistances ohmiques proprement dites, on aboutit à des valeurs de l'ordre de 350 pour l'harmonique d'ordre 5. Or, en réalité, l'expérience montre que les pertes supplémentaires considérables qui se manifestent aux fréquences de ces harmoniques, et qui sont à peu près inaccessibles au calcul, réduisent ce coefficient à une valeur au plus égale à 7, ce qui rend illusoire tout danger réel de surtension par résonance lors de la marche à vide.

Examinons maintenant ce qui se passe lors de la marche en charge : le réseau comprend encore la résistance r en série avec la capacité mais aussi une résistance fictive ρ équivalente à la charge, placée aux

(1) Bulletin de la Société Française des Electriciens, tome VII, 4e série, septembre 1927, page 969.

Digitized by Google

bornes de la capacité (fig. 15). On démontre facilement que le facteur de surtension devient sensiblement (ρ étant grand vis-à-vis de R)

$$\frac{1}{\frac{r}{l\omega}+\frac{l\omega}{\rho}}.$$

Supposons à titre d'exemple que la machine débite le quart seulement de sa charge normale et qu'elle présente une réactance interne de 20 pour cent pour la fréquence fondamentale. Si nous considérons l'harmonique d'ordre 5 et un facteur de surtension à vide $\frac{l\omega}{r}=7$, le facteur de surtension en charge se réduira à environ 2,5. Il dimi-

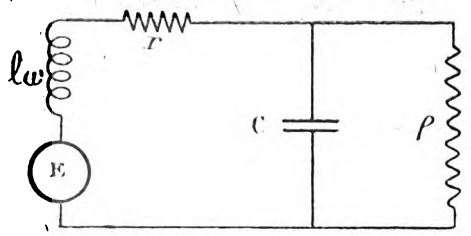


Fig. 15.

nuera encore et tombera rapidement au-dessous de l'unité lorsque la charge augmentera.

Bien entendu, comme l'a fait déjà remarquer M. Boucherot, la résistance ρ ne représente que la charge passive du réseau (fours, éclairage, électrolyse), et les pertes à la fréquence considérée dans les moteurs.

Quoi qu'il en soit, même si la constitution du réseau tend à augmenter la déformation de la force électromotrice, l'abaissement simultané du facteur de surtension rendra certainement inoffensive cette déformation.

M. de Pistoye. — Je suis d'accord avec M. Ricalens sur la difficulté qu'il y a à réglementer la forme de la courbe de tension en charge des alternateurs : un alternateur ayant une courbe de tension parfaitement pure sur des résistances ou des inductances sans fer, cessera de donner une différence de potentiel sinusoïdale quand il débitera sur une inductance contenant du fer saturé ; les harmoniques dans ce dernier cas, sont imputables à l'appareil d'utilisation et non à l'alternateur ; or, ce cas est le cas général et normal de la pratique.

Néanmoins, il n'est pas exact de dire qu'un alternateur dont la force

Digitized by Google

électromotrice à vide est sinusoïdale donnera forcément une différence de potentiel sinusoïdale sur charge ohmique ou inductive sans fer. Si la force magnétomotrice de réaction d'induit est, en effet, différente d'une force magnétomotrice sinusoïdale tournante et comporte des harmoniques, la différence de potentiel aux bornes aura aussi des harmoniques bien que la force électromotrice à vide soit sinusoïdale. Il suffit, pour s'en convaincre, de se rappeler que l'harmonique 3 des alternateurs monophasés est dû à la réaction d'induit.

De même, si l'on considère un alternateur triphasé comportant un fort harmonique 3 dans la force électromotrice induite entre neutre et phase, cet harmonique s'élimine dans le montage en étoile de trois phases. Mais si on couple le bobinage en triangle, cet harmonique produit un courant de circulation de fréquence triple de la fréquence fondamentale ; ce courant entraîne une déformation de la différence de potentiel aux bornes à vide comme j'ai eu l'occasion de le vérifier ; on voit là un exemple d'une déformation de la courbe due à un courant qui circule dans l'induit.

Néanmoins, ces causes de production d'harmoniques dues à la réaction d'induit sont rares et peu importantes dans les alternateurs modernes, les alternateurs monophasés mis à part ; une réglementation correspondante me paraît donc être difficile à établir, car la réalisation d'essais de charge sur résistances ou sur inductances sans fer est généralement impossible.

M. Belfils. — Je suis bien d'accord avec M. de Pistoye, qu'en ce qui concerne plus particulièrement les machines monophasées, des harmoniques importants de la tension peuvent apparaître en charge qui n'existent pas à vide. Dans le cas des machines polyphasées que M. Ricalens a plus particulièrement envisagé, il peut également y avoir apparition dans la force électromotrice d'harmoniques supplémentaires en charge dus à la fluctuation de la force magnétomotrice de réaction d'induit, mais ce phénomène est pratiquement peu important.

En ce qui concerne la remarque de M. Fallou, je suis bien d'accord avec lui que dans tous les circuits industriels et plus particulièrement dans les enroulements de machines ou de transformateurs, le coefficient de surtension pour l'harmonique de rang n, $\frac{l_n\omega}{r_n}$, rapport de la réactance $l_n\omega$ à la résistance r_n correspondant aux pertes à la fréquence considérée, croît beaucoup moins vite que la fréquence ; il passe par un maximum pour un rang d'harmonique relativement bas, 3 ou 5

Digitized by Google

par exemple, et diminue ensuite très rapidement quand la fréquence augmente. Il est à noter, en effet, que déjà à la fréquence fondamentale dans les machines un peu importantes, la résistance équivalente aux pertes est bien supérieure à la résistance en courant continu. Plus la fréquence considérée est élevée, plus les conducteurs ont tendance à se comporter comme des conducteurs massifs dans lesquels l'augmentation de la résistance avec la fréquence est accompagnée d'une réduction de l'inductance et c'est pourquoi les facteurs de surtension restent peu élevés ; par conséquent, ainsi que M. Fallou nous le fait remarquer, un harmonique même un peu important n'entraîne pas pratiquement de surtensions dangereuses.

M. Darrieus. — Nous sommes tous d'accord sur ce que la réglementation de la tension en charge serait au moins prématurée.

M. Belfils. — Dans les alternateurs à pôles saillants, même en améliorant la forme de la pièce polaire, la courbe du champ à vide est toujours pratiquement riche en harmoniques ; ces harmoniques sont déjà très atténués dans la courbe de la tension à vide, grâce à la composition géométrique des tensions induites aux fréquences harmoniques dans tous les conducteurs mis en série entre deux bornes de la machine.

Aussi, sans artifice particulier, on peut déjà arriver à une très bonne courbe de tension, grâce à la répartition sur 120 degrés électriques des conducteurs mis en série dans une machine triphasée montée en étoile.

Les harmoniques de rang 5 et 7 peuvent d'ailleurs s'ils subsistent d'une façon marquée, être éliminés à peu près complètement par un raccourcissement du pas compris le 1/5 et le 1/7 de sa valeur, de façon que les tensions induites de rang 5 et 7 dans le conducteur d'aller et le conducteur de retour suivant soient à peu près de sens opposé. De même les harmoniques de denture s'éliminent également par un choix convenable du pas dentaire.

Or, toutes ces dispositions ayant pour but d'obtenir, avec une courbe du champ inducteur très riche en harmoniques, une tension à vide sinusoïdale, agissent également pour faire disparaître en charge les imperfections supplémentaires provenant des déformations du champ dues à la superposition des forces magnétomotrices de l'inducteur et de l'induit.

M. Darrieus. — D'ailleurs, on peut toujours réaliser une répartition

Digitized by Google

du bobinage induit assez parfaitement sinusoïdale pour que, quelle que soit la perméance de l'entrefer, et par conséquent la forme du champ, tant à vide que de réaction, la tension reste sinusoïdale en charge.

M. DE LA GORGE présente une *Note sur la récente méthode de M. Blondel pour la mesure de la déformation des courbes d'alternateurs.*

La question de la mesure de la déformation des courbes d'alternateurs a fait l'objet de divers travaux présentés et discutés devant la 1re section en 1924. Au cours des séances ont été exposées les méthodes de M. BOUCHEROT et de M. BELFILS permettant de mesurer directement le résidu obtenu en éliminant l'onde fondamentale de la courbe. Pour conclure, la section avait émis le vœu que la courbe de la tension d'un alternateur soit qualifiée par la valeur efficace du résidu, rapportée à la valeur efficace de la courbe. Je ne crois pas cependant que la 1re section ait prétendu par ce vœu clore définitivement le débat sur la mesure de la déformation des courbes de tensions alternatives et s'interdire toute recherche à ce sujet. C'est dans cet esprit que je rappellerai ce soir en quelques mots la méthode indiquée par M. BLONDEL en décembre 1926 (1).

Cette méthode a pour principe de substituer à la courbe proposée une autre courbe déduite de la première en multipliant les harmoniques par des facteurs connus. Il existe une solution générale du problème ainsi que le montre M. BLONDEL. Elle consiste à utiliser un amplificateur de basse fréquence spécialement étudié et construit à cet effet et qui permet de transfigurer la courbe en multipliant chaque harmonique de rang n par un facteur proportionnel à n^2 ou à n^3 suivant qu'on dispose de deux ou trois étages d'amplification. Grâce à l'emploi de cet amplificateur thermoionique, on décélera les harmoniques d'ordre supérieur que seule la résonance électrique ou mécanique permettrait de mettre en évidence. Le mémoire original contient toutes les précisions nécessaires pour fixer les constantes des transformateurs et des lampes amplificatrices et les conditions d'application de la méthode. Mais je n'insisterai pas sur ce procédé, si intéressant soit-il ; je me limiterai au cas spécial où on cherche à obtenir une courbe transfigurée dans laquelle l'amplitude des divers harmoniques est multipliée par un facteur proportionnel à leur rang.

(1) Voir la Revue Générale de l'Electricité, nos des 4 et 11 décembre 1926.

Digitized by Google

Ce résultat paraît *à priori* pouvoir être atteint très simplement par l'insertion d'un condensateur en série avec l'oscillographe. Si on suppose le circuit réduit à cette seule capacité, le courant correspondant à un harmonique d'ordre n a pour expression : $I_n = n\omega C U_n$. Mais dans la pratique le problème est beaucoup plus compliqué, car l'alternateur ou le transformateur aux bornes duquel on veut relever la tension possède une self-inductance qui n'est pas négligeable. Elle sera comprise en général entre 0,6 et 20 millihenrys; et cette self-inductance associée à la capacité intercalée dans le circuit, risque d'entrer en résonance pour un des harmoniques de la courbe de tension considérée. Afin d'éviter tout danger de résonance, une première solution consiste à choisir la valeur de la capacité assez petite pour que la période d'oscillation propre du circuit soit très courte, c'est-à-dire très inférieure à celle des harmoniques les plus élevés qui puissent intervenir dans les courbes d'alternateurs. Mais on est limité dans cette voie par la sensibilité des oscillographes. Ceux-ci ne donnent une déviation suffisante que pour un courant de 20 ou 30 milliampères. On en déduit que si la tension à analyser est de 110 volts (fréquence 50 p : s) le condensateur employé doit être de l'ordre d'un microfarad. Cette valeur, si on la rapproche des chiffres de self-inductance donnés plus haut n'exclut pas la possibilité d'une résonance pour les harmoniques d'ordre supérieur (harmoniques de denture). Comment étouffer cette résonance ? On y réussit en créant un amortissement suffisant par l'adjonction d'une résistance R en série avec le condensateur. L'amortissement a pour expression $\alpha_c = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$. On recommande de le régler à 0,5 ou à 0,6. Par exemple dans le cas d'une self-inductance de 0,01, si la capacité est fixée à 1,12 ce qui correspond à la résonance pour l'harmonique 30, on maintient la loi de variation des amplitudes à peu près proportionnelle au rang des harmoniques, *même pour la fréquence de résonance*, en intercalant une résistance de 95 ohms

$$(\alpha_c = 0{,}5).$$

Bien entendu, dans l'évaluation de cette résistance, il faut tenir compte des pertes diélectriques dans le condensateur.

Nous avons admis jusqu'ici, comme on le fait généralement, que la sensibilité de l'oscillographe est constante pour tous les harmoniques. Cette condition sera réalisée, si la fréquence propre de l'oscillographe est très élevée (par exemple de l'ordre de 4000, tandis que celle de l'harmonique 31 est de 1550) : elle le sera encore approximativement

Digitized by Google

pour un équipage de fréquence propre beaucoup plus basse, mais dont l'amortissement est réglé à une valeur convenable.

Il semble en définitive qu'en observant quelques règles simples, on dispose d'une méthode qui permette d'obtenir immédiatement une courbe transfigurée où chaque harmonique est multiplié par son rang. Grâce à cet artifice, certaines déformations de la courbe primitive difficiles à percevoir et impossibles à mesurer, s'amplifient notablement. On en voit un exemple par l'oscillogramme ci-contre relevé sur un réseau (voir fig. 16) où sont juxtaposées, la courbe primitive et la

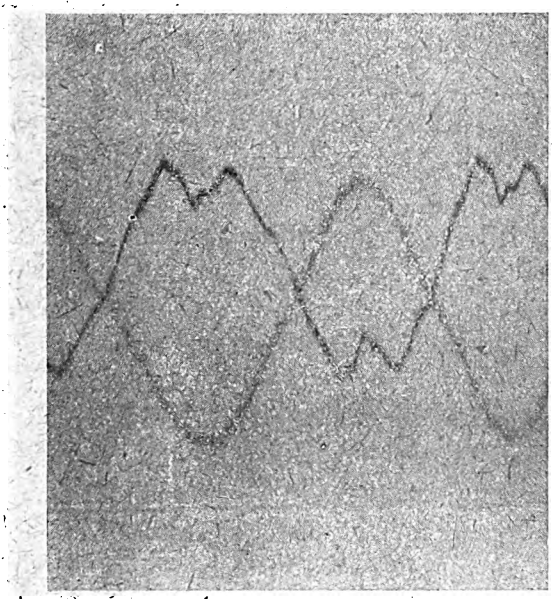


Fig. 16.

courbe transfigurée. Sur la première, l'harmonique 5, qui ne dépasse guère 1 pour cent de l'harmonique fondamental, reste imperceptible; sur la seconde, il apparaît très nettement. L'application des procédés électriques ou mécaniques permettant le calcul des harmoniques sera donc singulièrement facilitée ; et d'ailleurs la simple observation de la courbe transfigurée donne déjà une indication précise sur la pureté de l'onde de force électromotrice étudiée. C'est surtout à ce dernier point de vue que nous avons cru intéressant d'attirer l'attention de la section sur la méthode de M. Blondel. Elle ne prétend remplacer ni les méthodes de résonance électrique ou mécanique, ni la méthode des résidus, mais elle permet une vérification rapide de la pureté d'une courbe d'alterna-

Digitized by Google

teur sans recourir à des dispositifs dont la mise en œuvre est toujours assez délicate,

M. ROTH. — Je ferai seulement une petite remarque au sujet de l'intéressante communication de M. DE LA GORCE, c'est que la question de la déformation de la courbe de tension des alternateurs, dépasse maintenant le cadre de notre première section car elle a été soumise par le Comité Electrotechnique français, à la Commission Electrotechnique internationale lors de la réunion de New-York. La discussion en a été faite à la réunion de Bellagio du mois de septembre dernier et M. BOUCHEROT a fait une proposition recommandant pour l'analyse industrielle des formes d'onde (tension, courants alternatifs, etc.) l'emploi d'une méthode de principe consistant à annuler la composante sinusoïdale fondamentale de la grandeur à étudier par l'opposition d'une grandeur sinusoïdale pure.

La Commission Electrotechnique internationale a donc retenu le principe que M. BOUCHEROT a proposé ici même en 1924, à la première semaine de discussion. J'ajoute que la méthode a été essayée par MM. KENNELLY en Amérique, FELDMANN en Hollande, LIST en Tchécoslovaquie et VALLAURI en Italie. Ces messieurs se sont tous déclarés satisfaits et tous les comités nationaux de ces pays ont proposé l'adoption de la méthode BOUCHEROT. Après une certaine opposition du Comité allemand, le principe de l'élimination de l'onde fondamentale a été adopté, mais la méthode d'élimination n'est pas encore fixée.

Je me permets d'ajouter que j'ai eu l'occasion d'échanger une correspondance avec M. BLONDEL à ce sujet et je lui ai signalé que la méthode du résidu devait être considérée simplement comme un moyen simple industriel de vérification de la forme de l'onde.

Elle n'exclut pas du tout l'emploi de l'oscillographe qui, d'ailleurs permet pour des recherches, soit de nous donner la forme réelle du résidu, soit de mettre en évidence successivement chacun des harmoniques. C'est d'ailleurs également la réponse que j'ai faite aux délégués allemands qui, comme M. BLONDEL, craignaient que la méthode du résidu soit une limitation à l'emploi de l'oscillographe.

M. POMEY. — Cette propriété paraît avoir été dévoilée par WAGNER pour la réception du courant télégraphique : il reçoit, non pas le courant lui-même, mais le courant induit encore amplifié et au lieu d'avoir des courbes à ondulations très peu apréciables, il se trouve avoir des ondes très abruptes et qui alors permettent la visibilité des signaux. On fait beaucoup plus facilement l'analyse de la courbe induite, il suffit de ménager un court-circuit.

Digitized by Google

Séance du Mardi 25 Octobre 1927.

2e SECTION.

ECLAIRAGE. — CHAUFFAGE.

SOMMAIRE

1° Discussion du rapport de M. Maurice LEBLANC sur la détermination d'une base scientifique pour la fixation des minima d'éclairage recommandés. — MM. MAISONNEUVE, FOURCAULT, M. l'Inspecteur du Travail : conditions recherchées pour un éclairage optimum en Amérique et en Europe, p. 283 — M. MATHIVET : importance de la fréquence du courant sur la fatigue de l'œil, p. 285.

2° Discussion du rapport de M. Maurice LEBLANC sur la mesure pratique d'éblouissement d'une source lumineuse. — M. le Docteur COUVREUX : observations sur la mesure de l'éblouissement, p 287. — M. M. LEBLANC : résumé d'une communication du Professeur BORDONI sur une mesure de la gravité du phénomène de l'éblouissement, p. 287. — M. POMEY : effet de la brillance, p. 289. — Un membre : influence de l'éclairement ambiant au point de vue de l'éblouissement, p. 289. — M MARSAT : influence relative sur l'éblouissement de la brillance et du flux total, p 290

3° Rapport de M. WAGUET sur les méthodes de mesure des facteurs de réflexion, p 290.

4° M. MATIGOT : éclairage des studios par lampes à incandescence survoltées, p. 290. — M. ROUX : influence de la surtension appliquée aux lampes sur leur durée, p. 295.

Président : M. Maurice LEBLANC

Directeur de la Société Anonyme Hewittic.

M. LE PRÉSIDENT LEBLANC ouvre la séance et prie M. BUNET de bien vouloir prendre la présidence pendant que lui-même présente ses rapports.

M. M. LEBLANC présente son rapport sur *la détermination d'une base scientifique pour la fixation des minima d'éclairement recommandés* (1).

M. JOUAUST. — Je remarque qu'on a tendance à revenir à la règle du tiers indiquée par BROCA pour le maximum de rapidité de lecture. Elle me paraît d'ailleurs applicable dans beaucoup de cas.

M. MAISONNEUVE. — M. LEBLANC faisait allusion tout à l'heure à des

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, Tome VIII, février 1928, page 156.

Digitized by Google

travaux publiés par GASTER sur l'éclairage des ateliers de composition. Ce sont des essais officiels exécutés par le service de santé publique. Ils ont conduit à la conclusion que l'insuffisance de l'éclairage, non seulement en quantité, mais en qualité, avait des conséquences très marquées. Une lampe éblouissante peut, tout en donnant beaucoup de lumière, produire pratiquement des résultats inférieurs à ceux obtenus avec un éclairement plus faible.

Les essais effectués sous un éclairement de 200 lux avec de bons dispositifs, un éclairage bien réparti et des ombres réduites au minimum, ont montré qu'on gagne, non seulement sur la vitesse, mais aussi sur le nombre d'erreurs commises.

M. POMEY. — Si, par erreurs, il s'agit des lettres mises à l'envers, ce n'est pas en les regardant qu'on les corrige.

M. MAISONNEUVE. — Le code américain a surtout en vue la sécurité et l'hygiène. Les Européens recherchent les conditions à réaliser pour l'exécution parfaite d'un travail donné. Pour rapprocher ces deux points de vue, il y aurait lieu de rechercher quelle proportion il doit y avoir entre l'éclairement minimum et l'éclairement utile.

Par exemple, s'il s'agit d'un atelier d'horlogerie, l'éclairage de 50 lux prévu comme minimum serait insuffisant ; l'ouvrier de précision doit disposer de 100 lux.

D'ailleurs si l'on veut obtenir l'éclairement utile au travail et non plus seulement l'éclairement minimum, la dépense de courant sera sensiblement doublée.

Ensuite il faut tenir compte de la responsabilité qui entrerait en jeu si en cas d'accident ou de maladie, on pouvait prouver que les règles introduites dans le code professionnel n'ont pas été observées. Il faut donc savoir exactement si, pour la détermination de l'éclairement minimum on a en vue l'hygiène et la sécurité ou bien le rendement.

M. LE PRÉSIDENT BUNET. — Les chiffres de 10 et 20 lux, sont donnés dans les codes américains, au point de vue sécurité de l'œil, ce qui est différent de la sécurité générale.

M. POMEY. — Le minimum hygiénique de lumière est la quantité nécessaire pour placer l'ouvrier dans de bonnes conditions de travail.

M. DE VALBREUZE. — Une liste d'éclairements recommandés pour faire un bon travail donne des chiffres de 100 et 200 lux.

Digitized by Google

M. Fourcault. — Les Américains ont pris pour base de la réglementation internationale les minima imposés pour l'hygiène et la sécurité. Ils laissent à chaque pays le soin de recommander à ses industriels les valeurs correspondant au rendement maximum de l'ouvrier. Cette distinction ne paraît pas avoir encore été comprise en France.

Peut-on réglementer ces deux minima? L'éclairement nécessaire pour permettre la circulation dans les ateliers, est très simple à réaliser. L'éclairement minimum imposé par l'hygiène de l'œil, peut faire l'objet d'une réglementation qui édicte le minimum correspondant à chaque genre de travail. L'éclairage supplémentaire destiné à augmenter le rendement, ne peut être réglementé et ne peut pas figurer dans un code international de travail, c'est à chaque pays ou à chaque industrie à le déterminer. C'est pour cela, je crois, que les Américains se sont bornés à définir dans leur code, les deux premiers facteurs.

M. l'Inspecteur du travail. — J'ai eu l'occasion de visiter des ateliers de fabrication de billes pour roulement. Au service de vérification, il est nécessaire de distinguer les moindres défauts à la surface des billes. L'ouvrière, dans une salle très bien éclairée, est protégée par une glace dépolie; tout point brillant sur la bille est ainsi évité. On est donc obligé de disposer d'un éclairage très intense et de le diffuser.

M. Mathivet. — Anticipant sur une question dont je parlerai après demain, je demande si on a fait des études expérimentales pour reconnaître si le courant continu fatigue moins les yeux que le courant alternatif d'une fréquence quelconque? Mon impression personnelle, sans avoir fait d'essais, est que l'œil de l'ouvrier se fatigue moins par l'éclairage en courant continu que par l'éclairage en courant alternatif, même avec une fréquence de 50 p : s. A 25 p : s la fatigue est très marquée et je suis étonné que les usagers n'aient pas réclamé. La question est intéressante pour les hygiénistes. Elle pourrait être étudiée dans les secteurs de distribution de la région parisienne.

M. Jouaust. — Le courant alternatif est gênant pour l'éclairage des pièces mobiles, l'effet dépend de la température des filaments.

M. l'inspecteur du travail. — Il me semble que dans cette question, il y aurait lieu de s'en tenir aux décisions de principe et de s'attacher d'abord à l'hygiène de l'œil, en définissant l'éclairement permettant à

Digitized by Google

l'ouvrier, ou à toute personne travaillant dans un bureau ou même dans un appartement, de ne pas être trop fatiguée par l'effort à faire pour suivre son travail et ne pas être éblouie. Je crois que dans le code américain on a défini à ce point de vue un éclairement suffisant pour une vue moyenne. De même, pour éviter les accidents dans les établissements industriels, sans qu'il soit besoin d'un éclairement intense, il faut que l'ouvrier ne puisse pas se heurter à des objets placés sur le sol, buter contre des parties de machines, ou contre des organes de transmission en mouvement.

En ce qui concerne l'éclairement professionnel, il varie évidemment suivant la nature du travail à effectuer.

J'ai eu l'occasion de me rendre compte par exemple que dans les usines où l'on traite les déchets de soie où il faut enlever les déchets les plus menus, les ouvrières se tiennent devant des coffres éclairés au travers de plaques de verre translucides. D'autre part, l'horloger à son établi est obligé, non seulement de disposer d'un éclairement suffisant, mais encore de travailler à la loupe.

Dans chaque corporation, on est donc obligé de rechercher l'éclairement suffisant pour satisfaire une vue moyenne et pour permettre d'autre part aux ouvriers d'augmenter leur rendement. On pourra dans certains cas, selon l'acuité visuelle de chacun d'eux, les mettre à des postes différents, plus ou moins éloignés de la source de lumière,

Je crois donc qu'on ne peut pas établir de code fixe, mais qu'il serait désirable si on veut établir des règles internationales de déterminer l'éclairement moyen satisfaisant pour l'hygiène et la sécurité, et ensuite de calculer les éclairements nécessaires pour des travaux déterminés afin d'augmenter le rendement des ouvriers à vue moyenne.

M. Leblanc. — C'est précisément ce que la Commission internationale a trouvé très difficile à réaliser, car les expériences des éclairagistes dans les différents pays, ne donnent pas jusqu'à présent les mêmes résultats.

M. l'Inspecteur du travail. — Pour donner des chiffres, il faut exécuter des expériences nombreuses dans des industries diverses ; ceci est du domaine de l'étude pure et expérimentale, et c'est aux industriels qui ont les moyens pratiques de résoudre ces questions, de réunir des résultats expérimentaux, obtenus un peu partout.

M. Leblanc. — Ces expériences étant très difficiles à faire dans la pratique, on voudrait essayer des expériences de laboratoire, mais je ne sais si on y parviendra.

Digitized by Google

M. Maurice Leblanc présente son second rapport sur « *la mesure pratique d'éblouissement d'une source lumineuse* » (1).

M. Leblanc donne lecture d'une note de M. le docteur Couvreux, empêché d'assister à la séance.

M. le docteur Couvreux. — Je crois que M. Leblanc a tout à fait raison de critiquer la mesure de la gêne fonctionnelle résultant d'un éblouissement déterminé par la gêne subjective qu'éprouve le sujet ébloui.

L'appréciation du sujet met en jeu des fonctions cérébrales supérieures dont l'effet est d'inhiber les réflexes. Le fait seul de fixer son attention peut modifier grandement, non seulement la gêne subjective, mais encore les manifestations réflexes de l'organisme. Or, ce sont ces manifestations dont la dévaluation est la plus importante à connaître chez le sujet ébloui, car ce sont elles surtout qui traduisent le confort visuel et la capacité de travail du sujet. En résumé, je ne crois pas que la mesure utile de l'éblouissement puisse être faite autrement que par la mesure de la vitesse des réactions de toutes natures chez un sujet placé dans des conditions psychiques normales.

Relativement à la proposition de M. Leblanc, de modifier l'éclat des sources éblouissantes expérimentales en modifiant la température de ces sources, je ferai remarquer que ce procédé aurait l'inconvénient de modifier la couleur de la source, laquelle n'est pas sans influence.

Il est certain que le rouge fatigue davantage que les autres couleurs. C'est ainsi que lorsque nos yeux sont éblouis par la vision d'une plage éclatante, nous voyons les objets se colorer en vert, preuve que nous avons perdu, au moins partiellement, le pouvoir de distinguer le rouge.

M. Leblanc. — Je crois utile de résumer la communication faite par le professeur Bordoni à Bellagio sur *une mesure de la gravité du phénomène de l'éblouissement.*

Le professeur Bordoni a présenté au Congrès de Bellagio les résultats d'un travail dans lequel il mesure la variation du coefficient de perceptibilité de l'œil soumis dans diverses conditions à l'influence de sources éblouissantes.

Il entend ici par coefficient de perceptibilité de l'œil regardant une surface éclairée et de très faible diamètre apparent, le rapport entre la plus petite différence de luminosité encore perceptible entre cette

(1) *Bulletin de la Société Française des électriciens*, tome VIII, février 1928, page 159.

Digitized by Google

surface et une surface identique dont on peut régler l'éclairage et la luminosité moyenne de la surface regardée.

M. Bordoni reconnaît que le phénomène de l'éblouissement ne consiste pas seulement dans la diminution de la faculté de l'œil de percevoir des différences de luminosité, et que la diminution du coefficient de perceptibilité doit être considérée comme un indice de la gravité du phénomène de l'éblouissement et peut être l'indice simple le plus convenable.

L'objet regardé était une petite surface blanche circulaire (diamètre 1 cm 5) située à la distance normale de vision distincte (environ 24 cm) dont les deux moitiés pouvaient être éclairées indépendamment de façon connue au moyen de lampes invisibles à l'œil de l'observateur.

La lampe éblouissante était placée dans le plan vertical passant par l'œil et la surface regardée et pouvait être éloignée jusqu'à 15 m de l'œil et soulevée jusqu'à 8 m de haut au-dessus du plan passant par l'œil et la surface regardée. La pièce était suffisamment grande pour que l'influence des parois fût négligeable.

Les expériences furent faites pour des éclairements de 1, 10 et 100 lux de la surface d'essai dont le coefficient de diffusion est 0,76. Les sources éblouissantes étaient : une lampe dans le vide en verre clair de 500 lumens, une lampe claire à atmosphère gazeuse de 3 500 lumens, deux lampes opalines de 250 et 1 300 lumens. Les mesures furent faites en faisant varier avec ces différentes lampes leur hauteur et leur éloignement et les résultats traduits sous forme de courbes d'égal éblouissement.

M. Bordoni extrait de ces courbes les conclusions générales suivantes :

Pour de petites distances de la source éblouissante, on ne peut obtenir de grandes valeurs du coefficient de perceptibilité que pour de très grandes distances angulaires de cette lampe.

L'avantage d'un éclairage intense, ne consiste pas tant dans l'augmentation du coefficient de perceptibilité que dans la réduction de la zone dans laquelle les lampes présentes donnent lieu à un éblouissement excessif.

La diminution d'éblouissement due à l'usage de lampes dépolies est seulement appréciable aux petites distances ; au delà de quelques mètres (c'est le cas par exemple de l'éclairage des rues) leur emploi ne paraît plus suffisamment justifié en général.

Digitized by Google

M. Pomey. — L'effet de la lampe dépolie paraît pouvoir s'expliquer comme suit : à petite distance, la brillance éblouit ; à grande distance, quand le diamètre apparent est plus petit que le cône de la rétine, elle n'intervient plus.

D'autres points me paraissent très intéressants, particulièrement l'éblouissement par réflexion. Les lampes dites à demi-watt sont très dangereuses par leur brillance ; de plus elles éclairent directement le papier qui est généralement éblouissant. On subit donc une réflexion sinon métallique, du moins très gênante. A ce point de vue il y aurait quelques progrès à faire.

M. Maisonneuve. — Les fabricants de ces lampes recommandent de ne pas les employer sans diffuseur.

Un membre. — Il y a une chose dont on n'a pas parlé tout à l'heure, sur laquelle les Allemands ont fait des mesures assez précises, c'est le rapport à garder entre l'éclairement de la source et l'éclairement ambiant. Pour les projecteurs d'automobile par exemple, on a trouvé que l'éclat apparent de la source devait être mille fois plus intense pour causer une même sensation d'éblouissement, quand l'éclairement ambiant variait dans la proportion de 1 à 10. Dans les expériences que vous avez faites, on ne mentionne pas la valeur de l'éclairement de la salle.

M. Leblanc. — Les pièces dans lesquelles on a opéré étaient tellement grandes et les parois tellement éloignées qu'on a négligé leur influence.

Dans l'expérience de M. Bordoni, il y a des lampes qui éclairent le fond et d'autres qui produisent l'effet d'éblouissement, mais en général la lampe qui éblouit éclaire en même temps le fond. Pour que votre remarque ait un intérêt quelconque, il faut évidemment que les sources soient différentes.

Le même membre. — La hauteur des lampes a aussi sans doute une influence.

M. Chrétien a pris un brevet pour des lunettes de protection contre les phares d'auto, une petite pastille placée au milieu du verre cache le phare sur lequel l'automobiliste dirige instinctivement l'œil, l'éblouissement est ainsi complètement supprimé.

M. Leblanc. — La vue de la route n'est-elle pas cachée en même temps ?

Digitized by Google

M. X. — Il paraît que non, la pastille étant du diamètre de la pupille.

M. MARSAT. — En ce qui concerne l'éblouissement des phares, la question est très complexe, nous nous trouvons en présence de deux éléments : la brillance et le flux ; il semble que l'éblouissement provienne surtout de la brillance et non du flux total émis. Les constructeurs de phares ont pris l'habitude de suralimenter les lampes. On obtient ainsi des images extrêmement aveuglantes.

M. WAGUET présente son rapport sur *les méthodes de mesure des facteurs de réflexion* (1).

M. LE PRÉSIDENT LEBLANC. — Je remercie M. WAGUET d'avoir bien voulu nous présenter son rapport et le résultat de ses travaux malgré ses nombreuses occupations.

M. MATIGOT présente un rapport sur *l'éclairage des studios par lampes à incandescence survoltées.*

Je tiens à dire immédiatement que la question de l'éclairage des studios est, depuis plusieurs années, étudiée en France par différents constructeurs. Il n'a pas été fait beaucoup de publicité parce que la mise au point n'est pas encore effective, mais, dès maintenant, nous avons obtenu des résultats pratiques.

Je rappelle très brièvement que la cinématographie a fait ses débuts il y a quelque 20 ans, en opérant à la lumière du jour sur des pellicules correspondant à celles employées pour la photographie ordinaire.

En même temps que des perfectionnements mécaniques étaient apportés aux appareils de prise de vue, les fabricants de films s'efforçaient d'augmenter la sensibilité des bandes pour pouvoir opérer en éclairage artificiel. On s'est d'abord préoccupé de supprimer le scintillement.

Je tiens à insister particulièrement aujourd'hui sur le rendu des couleurs, c'est par là que nous allons pouvoir juger de la qualité spectrale de la lumière. Pour améliorer celle-ci, nous aurons à alimenter les lampes à incandescence à une tension plus grande que celle adoptée pour l'éclairage domestique ou industriel.

La déformation du rendu des couleurs était autrefois corrigée, et

(1) Ce rapport sera publié dans un bulletin ultérieur.

Digitized by Google

l'est même encore dans certains studios, en peignant les décors et en habillant les acteurs avec des couleurs habilement choisies, pour que, même dans un film blanc et noir, les différences ne fussent pas trop prononcées. L'interposition d'écrans spéciaux a permis aussi d'adoucir les différences de nuances obtenues.

Qu'il s'agisse de lampes à arc, à mercure ou à incandescence, le rendu d'un film quelconque peut, en effet, être modifié par des écrans correcteurs. Mais ce moyen est un pis aller, et il est extrêmement difficile d'obtenir ainsi des résultats corrects.

Les fabricants de films, de leur côté, en perfectionnant leur fabrication, ont permis d'obtenir avec des écrans sélectionnés, des résultats moyens au point de vue des couleurs.

Le véritable problème consiste à obtenir, en lumière artificielle, le même rendu des couleurs qu'en lumière du jour, étant bien entendu que le film, obtenu ou non avec interpositions d'écrans, pourra être jugé par comparaison avec un film panchromatique donnant un rendu correct pour presque toutes les couleurs.

Un film panchromatique peut permettre de travailler à coup sûr et même sans interposition d'écran lors de la prise de vue, si la sensibilité de la pellicule est parfaitement adaptée aux radiations des sources éclairantes. Cette condition a été assez longue à réaliser. On a voulu employer des films ordinaires, relativement durs, avec des lampes à atmosphère gazeuse dont le degré d'incandescence était par exemple celui que nous employons, ou ne le dépassant que de peu.

Les essais faits permettent de dire qu'en employant les films panchromatiques, on peut obtenir très facilement avec les lampes électriques à incandescence et pour une consommation d'énergie électrique sensiblement la même, le même résultat qu'avec des lampes à arc ou à mercure ; en effet, ces dernières émettent certaines radiations qui modifient les couleurs, ce qui oblige à employer des écrans correcteurs et à dépenser beaucoup plus d'énergie. Il est avéré qu'une pellicule qui n'obligera pas à filtrer la lumière est d'un emploi plus pratique et plus économique à tous points de vue.

Les mêmes personnages, cinématographiés au soleil ou dans un studio, donneront la même impression si, bien entendu, on respecte les valeurs d'intensité d'éclairage.

Des expériences ont été faites en Amérique depuis plusieurs années. Il existe dans ce pays, ainsi qu'en Allemagne, des studios bien équipés. En France, ce sont particulièrement les recherches et les expériences des films en couleur qui ont amené à étudier et à réaliser des films

Digitized by Google

sensibles en même temps qu'à mettre au point les appareils et l'éclairage artificiel.

De nombreuses sociétés s'intéressant à la cinématographie en couleur ont étudié cette question. Qu'il me soit permis de dire que c'est la Société des films en couleurs qui dès le début de 1925 prenait des films en studio, exclusivement avec des projecteurs armés de lampes à atmosphère gazeuse de fabrication française. Ceci n'a pas été divulgué. Beaucoup d'autres studios ont travaillé la question mais je n'ai été autorisé à citer que celui-ci.

Pour les films en couleur, les lampes à incandescence à atmosphère gazeuse sont particulièrement indiquées, car le rendu exact des couleurs peut être obtenu sans interposition d'écran correcteur.

L'alimentation électrique des lampes à atmosphère gazeuse peut être faite soit par courant continu, soit par courant alternatif de 42 ou 50 p:s. Toutefois, pour l'alimentation par courant continu, je ne préconiserai pas 220 volts.

Je suis partisan des lampes à forte intensité mais à tension réduite, 20 à 55 V par exemple.

Nous avons actuellement deux modèles de lampes, l'un à 24 V, l'autre à 55 V fabriquées par la Compagnie des Lampes ; on bénéficie ainsi de la capacité calorifique des filaments, et on peut opérer sur courant alternatif sans commutatrice.

L'emploi des lampes à atmosphère gazeuse permet d'économiser un important matériel.

La réussite de prises de vue avec lampes à atmosphère gazeuse demande un contrôle très rigoureux, surtout si on se propose de réaliser des films en couleur. Pour contrôler la qualité de la lumière émise, la vérification de la température du filament par un appareil « micropyrométrique » m'a donné d'excellents résultats.

Pratiquement on peut dire que, pour une qualité donnée de pellicule, le régime convenable d'éclairage correspond pour une distance donnée à une température donnée du filament.

Dans la pratique, on peut dans un studio se passer du pyromètre et le laisser aux spécialistes. Mais il faudra bien spécifier aux metteurs en scène la tension d'alimentation des lampes.

Après avoir procédé à l'examen des films témoins, on signalera par exemple aux services que la tension sur la lampe devra être de 22 pour cent supérieure au régime normalement admis pour l'éclairage industriel.

Par exemple, on peut employer pour l'éclairage des studios des

Digitized by Google

lampes de 85 V, c'est par là que nous avons commencé pour une durée de vie utile de 1 000 heures. Que va-t-il advenir de cette lampe si nous sommes obligés de monter progressivement en tension jusqu'à 130 ou 140 V ?

En réalité, si l'on emploie les pellicules panchromatiques, une alimentation ne dépassant pas de 18 à 20 pour 100 la tension normale donnera entièrement satisfaction, même au point de vue du rendu des couleurs. Dans ce cas, la lampe au lieu de durer 1 000 heures, n'aura plus qu'une durée utile de 250 à 300 heures.

J'ai expérimenté récemment un film de Kodak avec des lampes ne dépassant pas 22 lumens par watt. Nous avons eu un excellent rendu des couleurs. Je puis dire que je suis en parfait accord avec Kodak, une suralimentation de 9 à 10 pour cent, est suffisante pour le film panchromatique.

Contrairement à ce qui a été dit, lorsqu'on emploie des lampes à atmosphère gazeuse, on n'a pas besoin de ventilateur. Le ventilateur ne permet pas de pousser plus loin l'incandescence du filament. Il peut simplement servir dans l'éclairage d'un petit studio de photographe qui fonctionne toute la journée, pour réduire la température ambiante. Mais dans les studios de cinéma, munis d'ampoules bien construites, il suffit de prendre certaines précautions. On ne peut guère employer de lampes de plus de 50 volts car, si nous prenons, comme on a été tenté de le faire, une lampe de 110 V, assez puissante, la longueur de filament est telle que nous sommes obligés d'ajouter de nombreux supports en plus des électrodes. Or, ces supports empêchent d'atteindre une température élevée.

Dans les lampes de 24 volts employées pour le travail de studio, le filament est simplement tenu par les deux électrodes, sans autre support. Cette disposition permet d'atteindre presque la température de volatilisation du filament, en prenant des précautions, toutefois, à l'allumage.

Pour prolonger la durée de vie active d'une lampe, il faut absolument allumer avec une tension inférieure à la tension de fonctionnement.

Il se fait actuellement au studio de Billancourt, dirigé par M. Gance, ainsi qu'au studio des Cinés réunis, dirigé par M. Chateau, des essais pour employer la lampe à atmosphère gazeuse.

Les appareils sont extrêmement simples. On emploie un ventilateur parce que la verrerie des ampoules est en verre ordinaire, alors que la

Digitized by Google

Compagnie des lampes fournit des ampoules en verre dur, permettant de supprimer le ventilateur.

En somme, les studios étudient actuellement l'emploi des lampes à atmosphère gazeuse, que leurs radiations vertes, jaunes et rouges rendent extrêmement avantageuses. On ne peut nier qu'avec des arcs et des charbons spéciaux, on obtient également de bons résultats, mais c'est un peu plus compliqué.

D'autre part, des résultats satisfaisants ont été obtenus sur films orthochromatiques, par l'emploi d'écrans spéciaux. La surface du réflecteur de la lampe a une très grande importance. Pour ne pas refléter le filament, il faut prendre de grandes précautions, le miroir ne doit pas être trop grand, et qui plus est, il faut choisir la qualité du métal. Avec M. Darmois, nous avons essayé des miroirs en argent. On a peut-être un très bon résultat au point de vue du flux récupéré et dirigé, mais au point de vue des rayons chimiques, le résultat est très mauvais. Il faut employer un métal spécial.

Le problème de la disposition des sources lumineuses demande à être prévu d'une façon parfaite. Il y a là une différence entre la prise de vue avec la lampe à arc et ce que nous faisons maintenant avec les lampes à atmosphère gazeuse. On constitue un plafond lumineux avec un nombre très réduit de portants. Avec les lampes à arc et à mercure on disposait au contraire plus de portants et moins de plafonniers. La lampe à atmosphère gazeuse présente l'avantage de pouvoir être placée relativement bas ; si elle est ventilée, elle ne gêne pas ; elle ne donne pas d'éblouissement.

En résumé, les résultats pratiques sont tels qu'à l'heure actuelle, on peut préconiser, sans crainte, l'aménagement des studios avec des lampes à atmosphère gazeuse. L'éclairage ainsi obtenu est moins fatigant pour les acteurs que par tout autre système. Le rendement des artistes est augmenté et la rapidité accrue.

Ce système, d'une très grande souplesse, se plie facilement aux emplois divers.

La lampe à incandescence se recommande par sa simplicité et la fixité de sa lumière, alors qu'avec une lampe à arc, on est obligé d'attendre quelque temps sa mise au point. Avec les lampes à atmosphère gazeuse le régime correct est atteint en quelques instants.

Au point de vue pratique, je tiens à y insister, on a obtenu, pour un studio de 4000 m², un résultat très satisfaisant avec quatre projecteurs.

Digitized by Google

Un Membre. — En Allemagne on utilise une lampe que j'ai eue en ma possession dernièrement et qui travaille sur 12 V et 50 A; deux grosses barres, de 4 mm au moins de diamètre, tenues par le haut amènent le courant. Le filament est un énorme boudin dont la section est voisine 2 mm² avec trois spires de chaque côté. Les essais ont donné 2 300 bougies, la consommation étant de 600 W soit à peu près 1/4 de W par bougie.

Un Membre. — Au point de vue du rendu des couleurs, j'ai vu l'année dernière à la Société Française de photographie des clichés du photographe de l'*Illustration*, qui est un as de la photographie en couleur.

Une de ses plaques représentait un arracheur de dents d'autrefois sur une grande voiture rouge et dorée, avec des musiciens en pantalon bleu à bande rouge et veste rouge. La photographie sur plaque panchromatique ne donnait absolument rien car les bandes et le rouge ne se distinguaient pas du tout.

Une saucisse, photographiée pendant la guerre, d'un beau jaune sur une plaque en couleur, donnait sur une plaque ordinaire des différences considérables. Les pièces rapportées paraissaient peintes à l'encre de Chine.

M. Roux. — Au point de vue des radiations caractéristiques des lampes survoltées, voici ce qu'on obtient en pratique. Prenons une lampe de 1000 W donnant environ 17 lumens par watt.

Si nous augmentons la tension de 6 pour cent, le courant n'augmente que 3 1/2 pour cent la consommation de 9 1/2 pour cent, le flux lumineux de 20 1/2 pour cent. La vie de la lampe qui était de 1000 heures environ ne sera plus que de 520 heures en régime permanent.

Si donc je loue un studio et que je paie la consommation d'énergie, ces chiffres me seront précieux. Si nous portons à 15 pour cent la surtension, la durée de vie utile de la lampe tombe à 14 pour cent, et il n'y a rien à faire pour augmenter ces chiffres, même si l'ampoule est en verre dur.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Visite de l'Usine de Boulogne-sur-Seine de la Société « Le Matériel Téléphonique ».

Le mercredi 29 février, sur l'aimable invitation de M. ANDRÉ, Administrateur de la Société *le Matériel téléphonique*, quelques-uns des Membres de notre Bureau, ont visité les installations de la nouvelle usine de Boulogne de cette Société. Ils en ont vivement apprécié la puissance et la parfaite organisation, fruit de la longue expérience acquise au cours de ses travaux par la Western américaine.

Célébration au Franklin Institute du Cinquantenaire du premier essai de dynamo.

Le Franklin Institute de Philadelphie vient de nous envoyer l'information suivante :

« Le premier essai de dynamo fut fait au cours de l'hiver et du prin-
« temps de 1878, dans la salle du Franklin Institute, à Philadelphie,
« par le Professeur Elihu THOMSON et le Professeur E.-J. HOUSTON.

« Les essais portèrent sur divers types de dynamo en vue de déter-
« miner celui qui donnait le meilleur rendement. A la suite de ces
« essais, le choix du Franklin Institute se porta sur une génératrice
« Brush pour éclairage par arc, le Cinquantenaire de ces essais a été
« célébré au Franklin Institute, l'après-midi du 18 avril 1928.

Des communications ont été présentées par le Docteur Elihu THOMSON, seul survivant des deux Ingénieurs qui avaient procédé aux essais et par le Docteur Charles F. BRUSH, inventeur du type de dynamo finalement choisi.

Le Franklin Institute avait bien voulu inviter les Membres de la *Société Française des Electriciens* à assister à ce Cinquantenaire, mais l'invitation est parvenue trop tard pour pouvoir être portée en temps utile à la connaissance de nos Membres.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS

SOMMAIRE

1re *Section.* — Etude analytique du champ de fuites des transformateurs et des efforts mécaniques exercés sur les enroulements (M. Roth), p. 298. — Etat actuel des méthodes de mesure de la réactance transversale des alternateurs à pôles saillants (M. de Pistoye), p. 298. — Application des moteurs asynchrones synchronisés à la commande de laminoirs (M. Le Monnier), p. 307.

2e *Section* — Fixation des zônes standards pour la définition du flux émis par une source lumineuse (MM. Desarces et Wetzel), p. 317.

3e *Section.* — Le cadmium sous produit du zinc électrolytique (M. Altmayer), p. 318. — Projet de désignation des machines à souder par résistance (M. Mathieu), p. 318.

5e *Section.* — Direction des ondes radioélectriques, idées et réalisations (M. Bouthillon), p. 319. — Les essais téléphonométriques des appareils d'abonnés (M. Chavasse), p. 319.

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Président : M. Paul Girault

Séance du 3 février 1928. — *Etude analytique du champ de fuites des transformateurs et des efforts mécaniques exercés sur les enroulements.*

M. Roth présente les résultats d'une étude analytique sur les champs de fuites des transformateurs.

Sans insister sur les détails du calcul qui firent l'objet d'une publication antérieure, M. Roth en indique les résultats sous forme de tracés topographiques des lignes de force, dans les cas particuliers suivants :

a) Transformateur à enroulements biconcentriques, avec prises de de réglage à l'une des extrémités de l'un des enroulements.

b) Transformateur à deux enroulements concentriques avec prises de réglage symétriques aux deux extrémités de l'un des enroulements.

c) Transformateur à deux enroulements concentriques avec prises de réglage à l'une des extrémités de l'un des enroulements.

d) Transformateur avec bobinages symétriques, sans prise supplémentaire.

Ce tracé des lignes de force dans un plan parallèle à l'axe du circuit magnétique, permet de déterminer les efforts axiaux et longitudinaux exercés sur les enroulements en cas de surintensité.

Digitized by Google

M. ROTH indique les résultats du calcul de ces efforts, et les compare à ceux que fournissent les formules de M. DE PISTOYE. Cette comparaison montre que les formules de M. DE PISTOYE fournissent des résultats très suffisamment approchés dans la plupart des cas normaux.

M. DE PISTOYE présente une communication sur *l'Etat actuel des méthodes de mesure de la réactance transversale des alternateurs à pôles saillants*

L'influence de la réaction d'induit d'un alternateur à pôles saillants sur la tension aux bornes peut être décomposée en 3 éléments.

1° L'effet de la réactance propre de l'induit;

2° L'effet de la réactance transversale;

3° L'effet de la réaction directe.

Le flux propre de self-induction de l'induit est celui qui passe d'une face à l'autre des encoches Φ_1, ou qui entoure les conducteurs des têtes de bobines (figure 1).

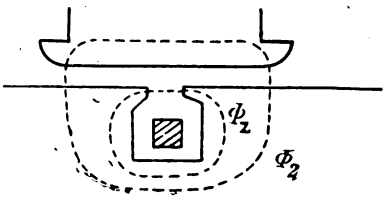


Fig. 1.

Le flux de réaction transversale correspond au flux de self-induction supplémentaire qui se ferme à travers les épanouissements polaires Φ_2 quand les conducteurs se trouvent en face de l'axe du pôle.

Enfin, la réaction directe est l'action démagnétisante de l'induit sur le flux principal, due aux bobines dont l'axe coïncide avec l'axe du pôle.

Le diagramme de Blondel qui donne la f. é. m. induite par le flux principal est alors le suivant (fig. 2).

On porte :

OA = U différence de potentiel aux bornes ;

AB = RI = chute de potentiel ohmique, en phase avec le courant I décalé de φ sur U ;

BC = $\mathfrak{L}\omega$I chute de potentiel due à la réactance propre de l'induit en quadrature avec I ;

Digitized by Google

$CD = \mathcal{L}_t \omega I$ différence de potentiel due à la réactance transversale en prolongement de BC ;

CE = composante de cette différence de potentiel en quadrature avec OD ;

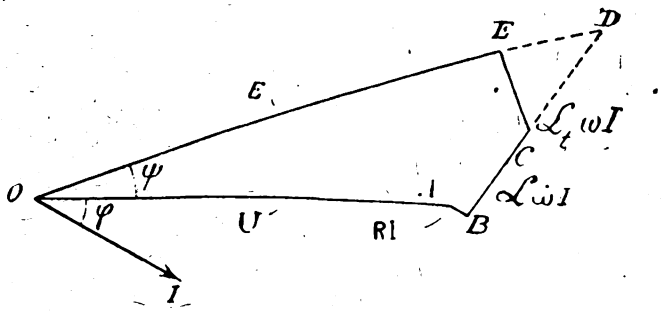


Fig. 2.

OF = f. é. m. induite par le flux émané de l'inducteur;

$\widehat{AOF} = \psi$ est le décalage électrique qui existe entre l'axe de l'espace interpolaire et l'axe des bobines induites au moment où la différence de potentiel aux bornes est maximum.

Nous nous proposons de déterminer expérimentalement le vecteur $CD_\varphi = \mathcal{L}_t \omega I$.

Pour cela on se place généralement dans les conditions (fig 3)

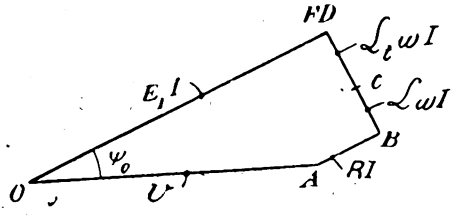


Fig. 3.

où CD est perpendiculaire sur OD, c'est-à-dire où le milieu de la zone de l'induit parcourue par le courant coïncide avec l'axe du pôle (décalage du courant sur la tension égal à ψ_0 en avance).

Dans ces conditions, la composante CF de la réactance transversale qui intervient dans la détermination de la f. é. m. induite, coïncide avec le vecteur même CD de la différence de potentiel maximum due au flux transversal.

Les méthodes de détermination de la réactance transversale sont au nombre de deux.

Digitized by Google

1° Méthode statique

Cette méthode a été publiée d'une façon à peu près simultanée par MM. Blondel et Carbenay (1) d'une part et par M. Togna (2) d'autre part, en 1919 dans la Revue générale de l'Electricité.

Elle consiste essentiellement à caler l'inducteur en face de l'induit dans une position telle que le milieu d'une phase coïncide avec l'axe d'un pôle (fig. 4), à faire passer du courant continu dans le bobinage induit et dans les électros de façon à mettre la machine dans l'état magnétique où elle est normalement pour un décalage du courant sur la tension égal à ψ_0 au moment où le courant est maximum dans une phase. En coupant le courant d'induit, on peut enregistrer la variation de flux qui se produit par un balistique ou un fluxmètre branché aux bornes de l'induit.

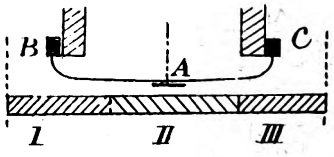


Fig. 4.

En procédant ainsi, on mesure $(\mathcal{L} + \mathcal{L}_l)I$. Si on veut mesurer seulement $\mathcal{L}_l I$, il faut disposer un bobinage auxiliaire dans l'entrefer au ras du pôle en A; aux extrémités du fer, ce bobinage devra suivre exactement le bord du fer de façon à n'être pas influencé par le flux des têtes de bobine (fig. 5).

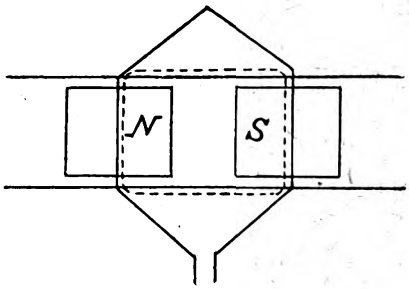


Fig. 5.

Remarque I. — Couplage des phases. — Quand la machine est diphasée, le courant étant nul dans une phase quand il est maximum

(1) Blondel et Carbenay, 7 et 14 juin 1919.
(2) Togna, 31 mai, 21 juin et 26 juillet 1919.

Digitized by Google

dans l'autre, on devra faire passer le courant continu dans une seule phase de l'induit.

Quand la machine est triphasée, au moment où le courant est maximum dans une phase, il a dans les deux autres phases une valeur égale à la moitié de sa valeur maximum. Les phases étant numérotées comme sur la figure ci-dessus, on fera donc entrer le courant par la phase II et on le fera sortir par les phases I et III en parallèle si le bobinage est en étoile ; s'il est en Δ, on le fera entrer et sortir aux extrémités de la phase II, les phases I et III étant alors branchées en série entre ces points (fig. 6).

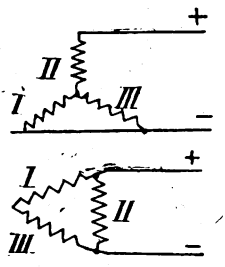


Fig. 6.

Remarque II. — Détermination du calage exact. — Le calage exact du milieu d'une phase en face du milieu d'un pôle peut être vérifié de la manière suivante : quand une phase est exactement dans la position de réaction transversale, il n'y a pas d'induction mutuelle entre cette phase et le bobinage d'excitation principal, du moins tant qu'aucun phénomène de saturation du fer n'intervient. On peut profiter de cette circonstance, en laissant les électros sans excitation, et en vérifiant que la coupure ou l'établissement du courant dans l'induit ne donne lieu à aucune déviation d'un balistique ou d'un fluxmètre branché aux bornes des électros. En particulier, si on emploie un fluxmètre (1), au moment où l'on établit le courant dans l'induit, le fluxmètre dévie si le calage n'est pas exactement le calage voulu. Il n'y a alors qu'à déplacer lentement l'inducteur jusqu'à ce que l'aiguille du fluxmètre revienne à la position initiale; à ce moment la variation du flux qui a traversé les électros depuis l'instant initial est nulle, le calage est le calage cherché.

Remarque III. — Influence de la saturation du fer. — Le flux de réaction transversale s'ajoute d'un côté du pôle au flux prin-

(1) Togna, *loc. cit.*

Digitized by Google

cipal et s'en retranche de l'autre. A partir du moment où la saturation du circuit magnétique intervient, on sait que la superposition du flux de réaction transversale au flux principal a pour effet de réduire celui-ci ; on peut mesurer cette réduction en bobinant quelques spires autour du pôle, auprès des cours polaires en BC (fig. 4), et en fermant ce petit bobinage auxiliaire sur un balistique ou un fluxmètre qui enregistrera la variation de flux traversant le pôle au ras des cours polaires.

Remarque IV. — Exécution de la mesure avec du courant alternatif. — On pourrait songer à mesurer le flux transversal en envoyant du courant dans le bobinage induit et en mesurant tension, courant, et puissance aux bornes de celui-ci, d'où l'on déduirait $(\mathcal{L} + \mathcal{L}_l)\omega I$; un voltmètre branché aux bornes du bobinage auxiliaire d'entrefer A donnerait immédiatement $\mathcal{L}_t\omega I$. Mais ceci ne pourrait se faire que les électros non excités, et l'influence souvent considérable de la saturation disparaîtrait, ce qui enlève tout intérêt à cette manière de procéder.

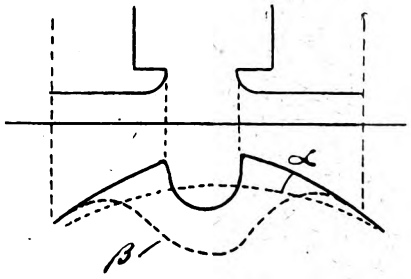


Fig. 7.

Remarque V. — Inconvénient de la méthode statique. — Même en se servant du balistique ou du fluxmètre, la méthode statique paraît avoir un inconvénient qui n'a peut-être pas encore été signalé jusqu'ici.

La courbe du champ transversal est loin d'être une sinusoïde (1) ; elle a l'allure indiquée par la figure 7. Cette courbe peut se décomposer en une onde fondamentale α et des harmoniques, parmi lesquels l'harmonique 3 (β) est très important. Le vecteur $\mathcal{L}_t\omega I$ correspond à l'onde fondamentale sinusoïdale. Les harmoniques produisent seulement une déformation de la courbe de différence de potentiel aux bornes. Or, le balistique ou le fluxmètre enregistre le flux total, tandis qu'il ne

(1) Roth, *Alternateurs et Moteurs synchrones*, tome I, p. 165.

Digitized by Google

faudrait enregistrer que son onde fondamentale. Il est donc probable que cette méhode donne des résultats entachés d'un certaine erreur par excès.

2° Méthode de la mise en charge directe

Cette méthode a été indiquée par M. Blondel dès 1899, quand il a publié sa théorie des deux réactions (*Indus. Elec.*, 10 et 25 novembre et 10 décembre 1899).

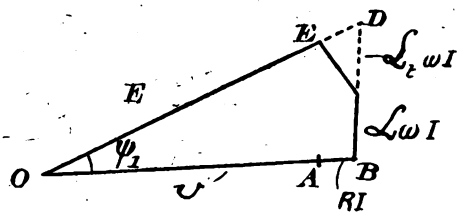


Fig. 8.

Elle consiste en principe (fig. 8) à mettre l'alternateur en charge sur résistances non inductives et à mesurer le décalage ψ_1 qui existe entre l'axe du pôle et la position des conducteurs de l'induit au moment où la différence de potentiel aux bornes est maximum. L'angle ψ_1 ainsi mesuré se compose de deux parties ; l'une est due à la réactance propre $\mathcal{L}\omega I$ de l'induit, l'autre à la réactance transversale $\mathcal{L}_t\omega I$. Pour obtenir $\mathcal{L}_t\omega$, il faut donc mesurer $\mathcal{L}\omega$. La détermination de $\mathcal{L}\omega$ ne rentre pas dans le cadre de cette communication.

Cette méthode évite l'inconvénient dû aux harmoniques présenté

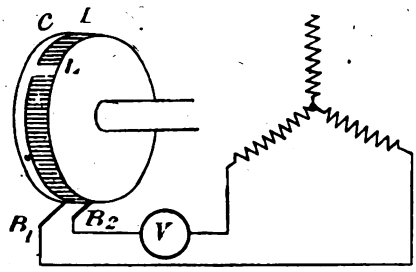


Fig. 9.

par la méthode statique, mais elle exige la mise en pleine charge active de l'alternateur, ce qui est souvent irréalisable.

Les procédés indiqués par M. Blondel pour mesurer ψ_1 sont les suivants :

1° On dispose sur l'arbre un contact de Joubert (fig. 9) : pour cela on

Digitized by Google

monte en bout d'arbre un disque comportant une circonférence conductrice C et une circonférence isolante I, cette dernière étant interrompue par des languettes L en nombre égal à celui des paires de pôles et équidistantes reliées à la circonférence conductrice C. Deux balais B_1 et B_2 frottent sur C et sur I et sont branchés aux bornes de l'une des phases de l'alternateur avec interposition d'un volmètre V; celui-ci n'est en circuit qu'à l'instant de la période où B_2 passe sur L.

On pourra régler la position de B_2 de manière que le voltmètre reste au zéro : les languettes L passeront alors sous le balai B_2 au moment où la différence de potentiel entre phases est nulle.

Quand on passera de la marche à vide à la marche en charge, il faudra, pour maintenir le voltmètre au zéro, faire tourner le balai B_2 d'un angle qui sera égal à $\frac{\psi_1}{p}$.

2° Un autre procédé indiqué par M. BLONDEL consiste à accoupler rigidement l'alternateur à essayer à un autre alternateur ayant le même nombre de pôles, les positions relatives du stator et du rotor des deux alternateurs étant telles que les f. é. m. soient en phase à vide. Quand on met l'un des deux alternateurs en charge, il se produit un décalage ψ_1 de la position des conducteurs de ces alternateurs au moment du maximum de la tension aux bornes par rapport à la position qu'ils occupent au moment du maximum de la f. é. m. à vide. Ce décalage ne se produisant pas sur le deuxième alternateur qui est resté à vide, si on enregistre simultanément par un oscillographe à deux équipages les courbes de différence de potentiel aux bornes de ces deux alternateurs, le décalage des deux courbes sera égal à ψ_1.

Des variantes de cette dernière méthode ont été reprises récemment aux Etats-Unis.

Variante de M. Douglas (1). — M. DOUGLAS accouple à l'alternateur 1) à essayer un autre alternateur 2) diphasé ayant le même nombre de pôles (représentés seulement par leurs axes, au nombre de quatre, sur la figure 10) et dont le stator peut être décalé par un dispositif à vis tangente. L'alternateur est essayé en moteur synchrone avec un décalage de courant tel que la réaction soit purement transversale ; l'angle de décalage entre E et U sera donc celui que nous avons appelé précédemment ψ_0.

Pour cela on règle le calage du stator de l'alternateur 2) pour que l'une de ses phases, I, I′ par exemple, soit en phase avec l'une des

(1) DOUGLAS Journal A.I.E.E., février 1927, p. 109.

Digitized by Google

phases du moteur synchrone 1) quand celui-ci est à vide. Puis on met le moteur synchrone 1) en charge, en lui faisant entraîner un appareil quelconque ; pour que la réaction soit uniquement transversale, il faut que le courant dans les conducteurs soit maximum au moment où ces conducteurs passent dans l'axe du pôle, c'est-à-dire

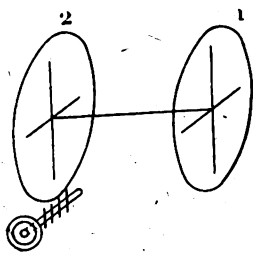


Fig. 10.

qu'il soit en phase avec la f. é. m. de la phase I, I' de l'alternateur 2), ou bien en quadrature avec la f. é. m. de la phase II, II' de ce même alternateur 2).

Ceci se vérifie au wattmètre; le réglage se fait en agissant sur l'excitation du moteur synchrone ou sur la tension d'alimentation de celui-ci. Puis on mesure le facteur de puissance aux bornes du moteur synchrone qui est égal à cos ψ_0; on en déduit ψ_0.

En faisant varier la tension et la charge, on peut se mettre dans telles conditions que l'on désire.

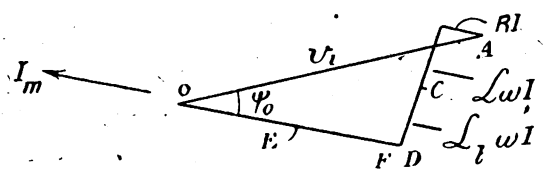


Fig. 11.

Variante de M. Schaefer (1). — M. Schaefer emploie un groupe de deux machines identiques dont l'une a un stator décalable, et il les

(1) Schaefer Journal A.I.E.E., août 1927, p. 811.

Digitized by Google

essaye à récupération l'une sur l'autre (procédé d'Hopkinson) (fig. 12).

On provoque la mise en charge en décalant le stator 2); un moteur auxiliaire entraîne le groupe par courroie et fournit les pertes. On règle alors les conditions de marche de façon que les courants I_g et I_m absorbés par la génératrice et le moteur soient égaux. Si on fait ab-

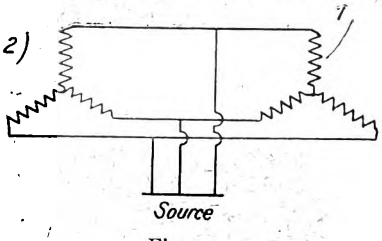


Fig. 12.

straction des chutes de tension ohmiques (fig. 13), les décalages ψ_0 et ψ'_0 sont égaux, et l'on voit que le courant résultant qui doit être fourni par la source d'alimentation est $2I \sin \psi_0$, ce courant étant d'ailleurs entièrement réactif.

Quand ces conditions sont remplies : 1) courants égaux dans les deux machines; 2) courant résultant entièrement réactif; 3) courant résultant égal à $2I \sin \psi_0$, ψ_0 étant le demi angle de décalage du stator réglable, — on est sûr que les courants sont bien maxima quand les conducteurs passent devant l'axe des pôles.

En réalité, à cause des chutes de tension ohmiques, les deux ma-

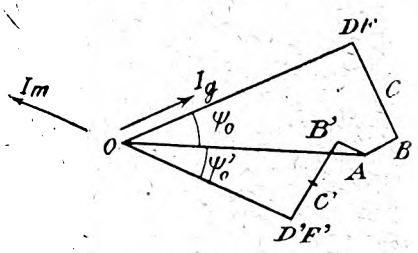


Fig. 13.

chines ne sont pas dans le même état magnétique; il en résulte que la méthode ne peut donner qu'une moyenne des deux valeurs de $\mathcal{L}$ relatives au moteur et à la génératrice. Elle a l'avantage de n'exiger qu'une source de puissance réactive, au lieu de mettre en jeu une source de puissance active égale à la puissance totale de l'alternateur en essais comme dans les dispositifs précédents.

De plus le réglage se fait pour une valeur donnée de $\psi_0 + \psi_0$ en agissant sur les excitations des alternateurs et du moteur qui fournit les pertes; on n'a donc pas besoin d'avoir un réglage continu du dé-

Digitized by Google

calage du stator. On peut alors supprimer ce décalage et le remplacer par un décalage des rotors, en disposant les plateaux d'accouplement de façon que les pôles des deux machines fassent un certain angle.

Observation. Méthode de M. Haga.

Une troisième méthode a été proposée par M. Haga (1), mais cette méthode, d'une application très difficile, est, en outre entachée, comme nous allons le voir, d'une grave cause d'erreur et ne saurait être retenue.

Cette méthode consiste à observer les battements du courant quand la machine démarrée en moteur asynchrone est sur le point de s'accrocher en moteur synchrone avec inducteur ouvert. La réactance de l'induit est maximum dans la position où le courant est entièrement réactif à cause de la réaction directe qui se produit librement puisque l'inducteur est ouvert, et minimum dans la position de réaction transversale.

En mesurant puissance, intensité et tension au moment du minimum, on en déduit $\mathcal{L} + \mathcal{L}l$, mais l'inducteur étant ouvert, la machine n'est pas dans son état magnétique normal.

Pour faciliter les mesures et augmenter la durée des battements, M. Haga entraîne l'alternateur par un moteur auxiliaire à une fréquence très voisine du synchronisme de façon à maintenir le régime à faible glissement, mais ceci est bien difficile sur une machine d'une certaine importance à cause des battements mécaniques inévitables à chaque période de glissement. Les essais de M. Haga ont porté sur une machine de 5 kVA seulement, ce qui a rendu possible l'application de ce procédé.

Conclusion. — En résumé, il n'y a que deux méthodes de détermination de la réactance transversale : la méthode statique et la méthode de la mise en charge directe, toutes les deux indiquées par M. Blondel.

M. Le Monnier présente la communication suivante sur *l'application des moteurs asynchrones synchronisés à la commande de laminoirs.*

Dans le programme que nous a tracé avec beaucoup de clarté

(1) Lumière Électrique, n° 37 du 11 septembre 1909.

Digitized by Google

M. GRIVET, l'étude que nous présentons aujourd'hui correspond au cas particulier des laminoirs réversibles sans volant, qui, ainsi qu'il nous le signalait, tendent à devenir de plus en plus nombreux, et que M. JUNG n'a fait qu'effleurer dans la communication très complète par ailleurs, qu'il nous a faite le mois dernier.

Laissant de côté le cas des laminoirs réversibles et celui des laminoirs irréversibles à une infinité de vitesses à vide, nous n'envisagerons ici que le cas des laminoirs irréversibles à une seule vitesse à vide.

Lorsqu'on a commencé à substituer la commande électrique à la commande mécanique dans les laminoirs, on s'est appliqué tout d'abord à remplacer le moteur thermique par un moteur électrique équivalent, rappelant d'aussi près que possible le premier.

La prudence même conseille, en effet, de ne pas tout bouleverser à la fois, et les habitudes acquises viennent, en outre, lors de semblables transformations, appuyer, presque à notre insu, les conseils de la prudence. De même que nous avons encore vu des wagons de chemins de fer des premiers âges, dont l'aspect rappelait celui des diligences, de même pour la commande des laminoirs, on a choisi tout d'abord des moteurs électriques — moteurs à courant continu ou moteurs asynchrones — dont la vitesse baisse quand la charge augmente, comme dans la machine à vapeur. On a même souvent conservé le volant de la machine à vapeur et on a parfois été bien aise de pouvoir recourir à son action, pour parer à quelque surprise sur la valeur de la puissance absorbée, ou ménager, en accentuant au besoin le glissement du moteur, une centrale un peu faible pour le service assez dur du laminoir. La doctrine s'est donc établie, presque universellement admise, que le moteur de laminoir, exposé à une marche irrégulière, doit avoir un glissement élevé et doit être muni d'un volant.

On ne pouvait d'ailleurs songer sérieusement à utiliser le moteur synchrone. On ne le connaissait alors que sous sa forme primitive avec son peu d'aptitude au démarrage et ses faiblesses en cas de surcharge excessive, provoquant le décrochage total.

Depuis quelques années, la situation a bien changé : on possède aujourd'hui, avec les machines asynchrones synchronisées, des moteurs ayant toutes les qualités d'exploitation des machines synchrones et y joignant les facilités de démarrage des moteurs asynchrones, en même temps que la faculté précieuse de ne pas décrocher totalement, en cas de surcharge, mais de passer alors seulement à un fonctionne-

Digitized by Google

ment asynchrone, qui cède d'ailleurs le pas au fonctionnement synchrone, dès que la surcharge est passée.

On pouvait donc tenter raisonnablement d'employer le moteur asynchrone synchronisé à la commande des laminoirs; on devait y trouver de façon certaine les avantages au point de vue de l'exploitation, résultant de ce qu'il n'exige pas de puissance réactive pour son fonctionnement, et même peut en fournir au lieu d'en absorber, comme le moteur asynchrone.

On était également assuré de ne pas être arrêté par les difficultés de démarrage et en cas de surprise sur la valeur des puissances maxima exigées, on savait que l'on ne se heurterait pas à une impossibilité d'emploi.

La rigidité de vitesse du moteur asynchrone synchronisé serait-elle par contre une source de difficultés ? L'expérience seule pouvait le prouver.

C'est près de Saverne, aux Etablissements Goldenberg, dans la pittoresque vallée de la Zorn, que l'on fit usage pour la première fois d'un moteur asynchrone synchronisé pour commander un laminoir. Il s'agissait d'un laminoir pour acier d'outils, à passes très courtes correspondant à des pointes de puissance très fortes, séparées par des intervalles de marche à vide.

Le service était très dur, très brutal même, et l'on put constater souvent, surtout au début, pendant une période de réglage de la fabrication, des passages du moteur en marche asynchrone, du fait de la surcharge; dès que la surcharge était passée, ce mode de fonctionnement faisait place automatiquement à la marche synchrone. L'expérience, répétée souvent plusieurs fois par jour, permit d'apprécier à leur juste valeur la souplesse et la robustesse de ce genre de machines. Cette installation fut réalisée à la fin de 1923 et elle fonctionne encore aujourd'hui dans ces conditions. Le moteur, qui sort des ateliers de la Compagnie Générale Electrique de Nancy a une puissance normale de 200 ch à 750 t/m, et sa puissance maximum en moteur synchrone est de 300 ch. Il est alimenté par des courants triphasés à 220 V, 50 p : s, fournis, soit par une Centrale particulière des Etablissements Goldenberg, soit par le réseau de l'Electricité de Strasbourg.

Cette première expérience, au cours de laquelle on n'avait rencontré aucune difficulté, démontrait donc la possibilité de commander, contrairement aux habitudes, un train de laminoir par un moteur asynchrone synchronisé. On pouvait donc alors aborder sans

Digitized by Google

appréhension, une nouvelle application de ce dispositif à une unité de puissance beaucoup plus élevée, avec d'autant plus de sécurité que les conditions d'irrégularité de marche étaient sensiblement moins dures qu'à Zornhoff.

C'est sur un des éléments du train à fil n° 8 de Rombas que l'on fit cette application (1).

Le train n° 8 des Aciéries de Rombas, montés à la veille de la guerre, ne fut mis au point qu'au lendemain de l'armistice. Il a pour objet une fabrication bien déterminée de fils ronds de 5 à 7 mm, dont la consommation par les tréfileries, clouteries, pointeries et entreprises de ciment armé atteint à l'heure actuelle un tonnage formidable. Ce sont des conditions qui justifient l'emploi d'installations spéciales à grande production et rendement élevé, permettant d'abaisser les prix de revient.

Jusqu'en juillet 1927, l'installation comportait :

— Deux fours poussants à défournement frontal;

— Un train ébaucheur continu, composé de 6 cages de 425 mm de diamètre et conduit par un moteur de 1 200 ch 167 t/mn;

— Deux cisailles à tronçonner;

— Un train intermédiaire continu, composé de 6 cages de 325 mm de diamètre avec moteur de 1 600 ch 167 t/mn;

— Un train finisseur composé de 3 cages continues de 325 mm et 7 cages indirectes de 240-290, conduites par un moteur de 3 000 ch 600 t/mn;

— Sept bobineuses avec bande de transport.

Le train de Rombas avait alors une production maximum par poste de 8 heures de 144 tonnes en fil rond de 5 mm et 218 tonnes en fil rond de 6,3 mm. Il laminait couramment 120 tonnes de rond de 5 mm en 8 heures.

La production de ce train était alors inférieure à celle de trains analogues et cette différence provenait de ce que les trois éléments du train n'étaient pas en parfaite harmonie. Les trains ébaucheur et intermédiaire n'étaient pas assez largement équipés pour alimenter

---

(1) L'Administration de la Société Lorraine des Aciéries de Rombas a bien voulu mettre à notre disposition toute la documentation très complète qui nous permet de donner une description détaillée de cette installation et de son fonctionnement. En lui adressant nos remerciements, nous nous permettrons de rendre hommage à la clairvoyance de la Direction et des Services d'études des Aciéries de Rombas, et plus particulièrement de M. Fieschi, chef du Service électrique, qui malgré des avis contraires, ont osé tenter l'expérience.

Digitized by Google

convenablement le train finisseur, dont le débit était supérieur à celui des deux premiers.

C'est pour remédier à ces inconvénients que l'on envisagea la transformation du train, qui fut réalisée aux mois de juillet et août 1927.

Le programme d'ensemble qui fut alors élaboré porta, non seulement sur le relèvement de la production du train, mais encore sur l'amélioration de l'exploitation au point de vue électrique, en se basant sur les remarques suivantes :

Sauf sur le premier moteur du train ébaucheur, la puissance absorbée par chacun des moteurs est relativement assez régulière; il n'y a donc pas intérêt à avoir, sur les moteurs des trains intermédiaire et finisseur, des moteurs à fort glissement, accompagnés d'un volant. Bien au contraire, l'ensemble des opérations étant assez long, on doit éviter tout ralentissement dans l'allure du train; il en résulterait, en effet, un refroidissement exagéré du métal, qui ne peut présenter que des inconvénients : le laminage devient plus pénible et la qualité des produits en souffre.

On décida donc de remplacer le moteur de 1 200 ch du train ébaucheur par le moteur de 1 600 ch, tournant à la même vitesse, qui commandait précédemment le train intermédiaire. On y adjoignit en outre un volant très lourd, de façon à pouvoir réduire le glissement.

Il n'y avait pas intérêt d'autre part à remplacer le moteur de 1 600 ch du train intermédiaire, par un moteur du même genre, c'est-à-dire présentant un glissement en charge.

Comme on escomptait en outre un relèvement de la consommation totale de la puissance active du fait de la transformation du train, on crut prudent d'envisager le relèvement du facteur de puissance jusqu'à l'unité sur le départ alimentant ce train, de façon à éviter une surcharge des canalisations. Il était tout indiqué alors d'assurer la compensation de l'énergie réactive consommée par les moteurs du train ébaucheur et du train finisseur, à l'aide du nouveau moteur que l'on installerait sur le train intermédiaire.

Pour satisfaire à ces diverses exigences, il fallait un moteur de 2 000 ch tournant à 167 t/mn, susceptible de supporter une surcharge de 100 pour cent et capable de fournir environ 1 200 kVA d'énergie réactive aux bornes. Ce moteur devait être alimenté par courant triphasé à 50 périodes par seconde sous 5 500 volts.

Parmi les diverses solutions qui furent étudiées, on s'arrêta à l'emploi du moteur asynchrone synchronisé.

Digitized by Google

On pouvait réaliser très exactement, avec une machine de ce genre, le programme imposé; le démarrage était aisément assuré; grâce à l'amortissement parfait de ces machines, on écartait toutes les craintes que l'on aurait pu avoir du fait des irrégularités de fonctionnement provenant soit du laminoir, soit du réseau. Enfin, au point de vue de la bonne tenue et des facilités d'entretien de la machine, on trouvait tous apaisements dans le fait que l'organe auxiliaire, qui aurait pu être un objet de préoccupation, se réduit à une excitatrice à courant continu, de tension et vitesse relativement faibles, c'est-à-dire se trouvant dans les meilleures conditions pour éviter toute difficulté, du côté du collecteur.

Ce moteur, qui fut construit dans les Ateliers de la Compagnie Générale Electrique de Nancy, a été mis en service après la transformation totale du train à la fin de septembre 1927. C'est probablement la plus grosse unité existant actuellement dans ce genre de machine.

Le stator, qui a un diamètre d'alésage de 2 800 mm, porte sur sa périphérie interne une série d'encoches *ouvertes* permettant l'emploi d'un bobinage amovible, complètement préparé à l'avance avec isolement entièrement au mica, qui assure une sécurité parfaite. Des dispositions analogues permettent également d'employer sur le rotor un bobinage en éléments complètement préparés et isolés à l'avance n'ayant à subir aucune déformation lors de la mise en place et exigeant le nombre minimum de soudures.

Les encoches sont refermées, au stator comme au rotor, par des cales spéciales en aggloméré magnétique, dont la présence combat les effets nuisibles de l'ouverture des encoches sur la forme des champs inducteur et induit.

Le courant d'excitation est fourni par une excitatrice, accouplée directement au moteur, c'est-à-dire tournant à 167 t/mn et fournissant 600 A sous 60 V.

Le moteur entraîne, d'autre part, le train, par l'intermédiaire d'un accouplement élastique.

On a procédé sur ce moteur à des essais très complets à vide et en court-circuit qui permettent d'en analyser le fonctionnement détaillé et d'en déterminer toutes les caractéristiques. Les pertes totales en régime normal s'élèvent à 114 kW.

Pour une puissance absorbée aux bornes de 2 000 kVA sous $\cos \varphi = 0{,}8$ c'est-à-dire de 1 600 kW, cette machine fournit donc

Digitized by Google

une puissance disponible sur l'arbre de 1 486 kW = 2 020 ch et une puissance réactive disponible aux bornes de 1 200 kVA.

Le rendement brut de la machine serait donc de :

1 486/1 600 = 92,8 pour cent. Nous employons intentionnellement l'expression de *rendement brut*, car si la puissance de 1 600 kW correspond bien à tout ce qu'absorbe le moteur, la puissance de 1 486 kW ne correspond pas à tout ce que rend ce moteur. Outre la puissance active de 2 020 ch sur l'arbre, il fournit aux bornes 1 200 kVA de puissance réactive qui vont servir à compenser la puissance réactive absorbée par les moteurs voisins. Il n'est donc pas équitable de faire rentrer dans le rendement du *moteur* les pertes qui correspondent à la production de la puissance réactive. Nous appellerons alors, *rendement propre*, le rendement du moteur fonctionnant à $\cos \varphi = 1$, c'est-à-dire produisant uniquement de la puissance mécanique sans mettre en jeu dans aucun sens de puissance réactive, aussi bien pour en fournir que pour en absorber.

Les pertes totales à la pleine charge de 1 600 kW sous $\cos \varphi = 1$ s'élèvent à 82 kW seulement.

La puissance disponible sur l'arbre est donc de :

$$1\,600 - 82 = 1\,518 \text{ kW} = 2\,060 \text{ ch}$$

et le rendement propre du moteur atteint alors :

$$1\,518/1\,600 = 94{,}7 \text{ pour cent.}$$

La différence des pertes entre les deux régimes de fonctionnement à $\cos \varphi = 0.8$ et à $\cos \varphi = 1$, correspond donc à la production des 1 200 kVA de puissance réactive. Cette différence 114 — 82 = 32 kW représente une dépense de 2,7 kW pour 100 kVA d'énergie réactive produite. C'est un taux extrêmement faible que l'on est loin d'atteindre avec des compensateurs synchrones de cette puissance qui exigent une puissance de l'ordre de 5 kW pour 100 kVA réactifs, même quand on les établit à grande vitesse.

On voit donc que, *non seulement le moteur asynchrone synchronisé réalise pour lui-même des rendements très élevés* et tout à fait comparables à ceux des moteurs asynchrones ordinaires, mais *qu'il fournit en même temps à des taux très intéressants l'énergie réactive* qui peut être utile dans le voisinage.

L'emploi des moteurs asynchrones synchronisés constitue donc au point de vue électrique, dans ce cas particulier comme en général dans tous les cas qui se présentent, *la meilleure solution du problème du relèvement du facteur de puissance.*

Digitized by Google

En effectuant pour différents points de fonctionnement le tracé des diagrammes et la détermination des pertes, comme on vient de le faire pour le point de fonctionnement normal à la charge de 1 600 kW, on pourra déterminer les caractéristiques complètes à charge variable du moteur fonctionnant à excitation constante.

On met ainsi en évidence les valeurs très élevées du rendement propre du moteur à toutes charges, en même temps que les consommations très réduites de la machine, fonctionnant comme compensateur de puissance réactive ; entre 1 000 et 3 000 ch en effet, les rendements varient de 92 à 95 pour cent et l'énergie réactive produite est en moyenne de 100 kVA, avec une consommation moyenne de 2,8 kW pour 100 kVA d'énergie réactive produite.

Les résultats obtenus en exploitation aux Aciéries de Rombas n'ont fait que justifier le choix auquel on s'était arrêté ; toutes les prévisions ont été réalisées, sinon dépassées, dans le sens le plus favorable. La mise en service de ce moteur s'est faite au jour et à l'heure fixés par les Aciéries sans aucun tâtonnement, ni réglage. Le démarrage s'effectue journellement sans aucune difficulté avec un appel de courant qui ne dépasse pas la moitié du courant normal. Au point de vue de la stabilité du fonctionnement, la marche est parfaite ; depuis quatre mois que cette machine est en service, on n'a jamais pu constater de tendance aux décrochages, ni aux pompages, malgré les variations de fréquence et de tension assez brutales comme il s'en produit souvent dans les réseaux des grandes usines métallurgiques. En ce qui concerne le facteur de puissance, on atteint très exactement l'objectif que l'on s'était fixé. Le facteur de puissance est actuellement toujours très voisin de 1 et varie seulement de 0,9 avant à 0,95 arrière, alors que précédemment il oscillait de 0,3 à 0,85 arrière.

La suppression du glissement qui pouvait sembler téméraire n'a eu que des conséquences heureuses. En accélérant le travail de laminage, on a diminué les chances de refroidissement du métal et cette disposition a contribué à améliorer la production en quantité comme en qualité. D'autre part, en supprimant le glissement, on a supprimé les pertes dans la résistance, et par suite, on a contribué à relever le rendement de l'installation, de sorte que l'on a constaté que la consommation d'énergie n'avait pas augmenté autant que la production.

On a remarqué, en effet, un accroissement moyen de la production de 25 pour cent Le tonnage maximum par poste de 8 heures en fil

Digitized by Google

rond de 5,5 mm qui avait atteint 189 tonnes le 30 avril 1927, avant la transformation, est monté à 240 tonnes le 18 octobre après la transformation.

Pour le fil rond de 5 mm, on a atteint le tonnage de 184 tonnes par poste de 8 heures (18 janvier 1928).

Par contre, la consommation a varié de façon à peine sensible, de sorte que l'économie réalisée par tonne de produit fini est très appréciable.

Au point de vue de l'exploitation du réseau, on n'a trouvé que des avantages à la transformation effectuée. En effet, malgré l'augmentation de production, les courants débités par la Centrale ont diminué. Les canalisations se sont donc trouvées déchargées et comme, en outre, elles travaillent actuellement ainsi que les alternateurs sous un débit presque purement actif, les chutes de tension sur les trois moteurs ont été notablement réduites, ce qui leur a donné plus d'élasticité. La valeur des pointes a été légèrement accrue, mais cela ne présente aucun inconvénient sur la centrale très puissante des Aciéries.

L'installation de Rombas nous apporte donc un tableau saisissant des avantages que l'on peut tirer de l'emploi judicieux des moteurs asynchrones synchronisés pour la commande des laminoirs.

Mais ce n'est pas à la *sidérurgie* seule qu'il faut réserver l'application de ce genre de machine. Le travail de laminage se retrouve dans nombre d'industries. Si c'est par laminage que l'on obtient le rail qui doit porter les lourds express, c'est par ce procédé également que l'on prépare le rail souple et sans fin, qui se déroule inlassablement sous les jantes de l'automobile.

Dans l'industrie du caoutchouc, il y a actuellement en France dans cinq établissements différents, tant dans la région parisienne qu'en province, une douzaine de laminoirs commandés par des moteurs asynchrones synchronisés de la Compagnie générale Electrique de Nancy.

Ces moteurs, dont la puissance varie de 100 à 500 ch, représentent une puissance totale de 3 000 ch ; les seuls établissements Dunlop de Montluçon, dont les fabrications sont remarquablement ordonnées et étudiées avec un souci constant de la plus grande économie dans l'exploitation, ont depuis trois ans, installé successivement huit de ces moteurs. Malgré les variations de charge et les pointes de puissance à la fois très brusques et très fortes qui se produisent dans cette appli-

Digitized by Google

cation, comme dans les précédentes, on n'a jamais éprouvé la moindre difficulté du fait de pompages ni de décrochages de ces moteurs. Ces machines, en outre de leurs propriétés spéciales au point de vue de la consommation d'énergie réactive, présentent une autre particularité, intéressante dans ce cas particulier : le moteur asynchrone synchronisé permet de réaliser très aisément le freinage électrique. Il suffit, en effet, de commander l'excitatrice indépendamment du moteur, de façon que le courant d'excitation soit indépendant de la vitesse du moteur ; on peut alors freiner le moteur en le chargeant comme génératrice sur des résistances, après l'avoir, au préalable, isolé du réseau.

Cette disposition est précieuse dans le cas des laminoirs à caoutchouc, car, en cas d'accident, on a intérêt à arrêter le plus vite possible la machine. Cette mesure a d'ailleurs déjà été appliquée en Amérique, sur des moteurs synchrones ordinaires, mais là encore, il fallait avoir recours à des dispositifs spéciaux pour assurer le démarrage, qui doit être effectué parfois dans des conditions très dures.

Le moteur asynchrone synchronisé résout donc la question de façon tout à fait complète.

En résumé, le travail de laminage est pénible, brutal même, et il semble qu'impressionné par la nature de ce travail, ce soit avec un sentiment de crainte que l'on ait entrepris tout d'abord l'électrification des laminoirs.

On a donc cherché à atténuer la rigueur de ce service, à en freiner les brutalités en mettant des volants et en employant des moteurs refusant le service au moment critique, de façon à ménager la Centrale.

Aux moteurs primitifs, dans lesquels on obtient des glissements par le procédé barbare, qui consiste à introduire une résistance dans le rotor, on a substitué plus tard les dispositifs compliqués et délicats de récupération, qui cadrent mal avec le milieu qui les entoure. La peur est mauvaise conseillère. Les exemples précédents et celui de Rombas, en particulier, nous montrent qu'il vaut mieux aborder l'obstacle de front. Le laminage est le but : l'électricien doit mettre au service du lamineur toutes ses ressources pour atteindre ce but et lui fournir les moyens de l'atteindre, non pas aussi bien, mais mieux qu'avec la vieille machine à vapeur.

Dans bien des cas, l'emploi des moteurs asynchrones synchronisés qui possèdent les qualités de simplicité et de robustesse requises pour ce genre de travail, constituera la meilleure solution, aussi bien au

Digitized by Google

point de vue de l'exploitation du réseau que du rendement global et de la production du train.

2e SECTION. — ÉCLAIRAGE ET CHAUFFAGE

Président : M. M. LEBLANC.

SÉANCE DU 22 FÉVRIER 1928. — *Fixation des zones standards pour la définition du flux émis par une source lumineuse* (MM. DESARCES et WETZEL). — Au Congrès de Bellagio, cette question a été confiée à la Belgique. MM. DESARCES et WETZEL ont été invités à l'étudier pour le Comité français, chaque Comité national devant apporter sa contribution au pays chargé de présenter un rapport à la Commission Internationale de l'Eclairage. M. DESARCES communique le début de cette étude.

Après avoir rappelé que les appareils d'éclairage sont en général classés, suivant la distribution de leur flux lumineux, en appareils d'éclairage direct, indirect, semi-direct et semi-indirect, il signale l'intérêt de subdiviser les dispositifs d'éclairage direct en trois catégories : systèmes extensif, intensif et semi-intensif. Il est en effet intéressant de savoir comment ces appareils distribuent la lumière au point de vue du choix de leur écartement. M. Ward Harrison, dans son rapport d'octobre 1919 sur la détermination des coefficients d'utilisation, proposait une classification analogue :

$$\text{Foyers intensifs : } \frac{\text{Flux dans la zone 0 à 40°}}{\text{Flux dans la zone 0 à 90°}} = 35 \text{ à } 40\ \%$$

$$\text{Foyers semi-intensifs : } \frac{\text{Flux dans la zone 0 à 40°}}{\text{Flux dans la zone 0 à 90°}} = 40 \text{ à } 45\ \%$$

$$\text{Foyers extensifs : } \frac{\text{Flux dans la zone 0 à 40°}}{\text{Flux dans la zone 0 à 90°}} = 45 \text{ à } 50\ \%$$

Cette classification semble pouvoir être adoptée. Toutefois, il est très difficile de reconnaître à première vue dans quelle catégorie on peut classer une source d'après le seul examen de sa courbe photométrique. Il pourrait donc être très intéressant de généraliser l'emploi des courbes de BLOCH (courbes de flux) ou plutôt de courbes exprimant les variations de la dérivée du flux en fonction de l'angle α (α étant l'angle de la direction du rayon lumineux avec la verticale).

Cette courbe serait très facile à construire en partant de la courbe

Digitized by Google

photométrique, et donnerait une idée exacte de la distribution du flux lumineux dans les différentes directions, en permettant notamment de calculer immédiatement le flux compris dans un certain angle $d\alpha$ puisqu'il suffirait de multiplier le vecteur correspondant par l'angle plan $d\alpha$.

Il préconise l'usage d'une courbe représentant les éclairements sur la ligne horizontale tracée sur le plan utile et passant par l'axe vertical de l'appareil. Une telle courbe rend très simple le calcul d'un projet d'éclairage.

M. EXELMANS juge que la courbe polaire de distribution constitue un renseignement précieux et doit être en tout cas conservée dans les catalogues des fabricants.

M. BLONDIN signale occasionnellement l'illogisme de la définition du facteur d'uniformité qui est le rapport de l'intensité maximum à l'intensité minimum dans une certaine zone. En effet, plus ce facteur est grand, moins parfaite est l'uniformité. Il espère qu'on se mettra un jour d'accord sur une définition plus rationnelle.

Rapports annuels par M. LEBLANC. — M. le Président donne lecture des deux très intéressants rapports qu'il a rédigés.

Les applications biologiques de la lumière (application de la lumière dans les poulaillers, — pièges à insectes, — forceries de plantes, — germination des graines).

Les lampes à arc (lampes à arc entre charbons — lampes à arc à électrodes de tungstène — lampes à vapeur de mercure en quartz).

Ces rapports seront ultérieurement publiés in extenso.

3e SECTION. — ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTRO-MÉTALLURGIE PILES. — ACCUMULATEURS.

Président : M. Charles MARIE

SÉANCE DU 25 FÉVRIER 1928. — M. ALTMAYER présente une communication sur « *le cadmium, sous-produit du zinc électrolytique* » (1).

M MATHIEU présente ensuite une communication sur « *un projet de désignation des machines à souder par résistance* » (1).

(1) Cette communication paraîtra in extenso dans un Bulletin ultérieur.

Digitized by Google

5e SECTION.
TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSIONS PAR ONDES

Président : M. REYNAUD-BONIN

SÉANCE DU 17 FÉVRIER 1928. — M. BOUTHILLON présente une communication sur « *la direction des ondes radioélectriques, idées et réalisations* » (1).

M. CHAVASSE présente une communication sur « *les essais téléphonométriques des appareils d'abonnés* » (2).

---

(1) Cette communication paraîtra in extenso dans un bulletin ultérieur.
(2) Cette communication est reproduite in-extenso p. 225 du présent Bulletin.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ [1]

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ELECTRICITÉ.

— **Le problème de la production. L'électrification de la France. Le gaspillage de nos ressources énergétiques**, par Maurice MOLLARD, sénateur de la Savoie. — Paris, Dunod, 1927 ; un vol. broché 24cm × 19cm, de VI-227 pages, avec une carte hors texte (Don de l'éditeur).

CONGRÈS . — EXPOSITIONS. — SOCIÉTÉS. — SYNDICATS. ETUDES ÉCONOMIQUES, ETC.

— **L'évolution industrielle russe depuis la fin du XIXe siècle**, par Jean ORDINAIRE, Docteur en droit, Ingénieur E. E. I P. — Paris, Marcel Giard, 1927 ; un vol. broché 25cm × 16cm, de 316 pages. (Don de l'auteur)

FORMULAIRES, AIDE-MÉMOIRE, MANUELS, ETC.

— **Album de plans de pose et schémas d'électricité industrielle**, par Alfred SOULIER. Ingénieur-Electricien. — Paris, Librairie Garnier frères, 1928 ; un vol. oblong cartonné 21cm × 16cm, de XII-219 pages. [Prix : 12 francs]. (Don de l'éditeur).

— **L'Electricité à la portée de tout le monde**, par P. MAURER. Ingénieur, d'après l'ouvrage de Georges CLAUDE, Membre de l'Institut. — Paris Dunod, 1928 ; un vol. broché 25cm × 16cm,5, de XVI-450 pages, avec 233 figures. (Don de l'éditeur).

— **Agendas Dunod : Electricité**, par L. D. FOURCAULT, 47e édition, 1928. — Paris, Dunod, 1928 ; un vol. cartonné, de XXIV-439 pages, avec 127 figures Prix : 17 francs (Don de l'éditeur).

— **Agendas Dunod : Physique industrielle**, par J. IZART, Ingénieur-Conseil, 8e édition, 1928. — Paris, Dunod, 1928 ; un vol. cartonné de XX-376 pages, avec 132 figures. Prix : 17 francs. (Don de l'éditeur).

GÉNÉRALITÉS. — ETUDES THÉORIQUES. — RECHERCHES PHYSIQUES.

— **Introduction générale à la Photométrie**, par Charles FABRY, Professeur à la Sorbonne et à l'École Polytechnique, Directeur général de l'Institut d'optique théorique et appliquée. (*Encyclopédie photométrique*. — Première section : généralités. I.) — Paris, Editions de la Revue d'optique théorique et appliquée, 1927 ; un vol. cartonné toile 24cm,5 × 16cm, de VIII-178 pages, avec 50 figures. (Don de l'auteur).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Recherches physiques

Density and Electrical Properties of the system Rubber sulphur. (Densité et propriétés électriques du système caoutchouc-soufre) Publication du Bureau of standards n° 560, par H.-L. Curtis, A. T. Mc Pherson et A.-H. Scott. — 36 pages, 10 figures, Washington 1927.
Le fascicule se divise en 2 parties.

La première partie est une étude systématique de la densité des composés de caoutchouc et de soufre, avant et après vulcanisation, jusqu'à 32 °/₀ de soufre et fait présumer l'existence d'un composé défini correspondant à 19 °/₀ de soufre.

La deuxième partie, portant sur les propriétés électriques, fait suite à une étude antérieure sur la « Constante diélectrique et la résistivité du caoutchouc et de la gutta-percha ». Là encore se manifeste l'existence de composés définis, dont les auteurs tentent d'expliquer la formation et pour lesquelles ils proposent des formules.

Congrès. — Statistique. — Expositions.

L'évolution Industrielle Russe depuis la fin du XIX^e^ siècle, par Jean Ordinaire, Docteur en Droit, Ingénieur E. E. T. P.. 1 vol. de 307 pages, avec une introduction de l'auteur, une bibliographie contenant 23 références, un tableau d'équivalence des unités de mesure et des monnaies russes, et une table des matières. — Marcel Giard, éditeur, 16 rue Soufflot. Paris 1927. (Don de l'Auteur).

La présente étude a pour objet l'évolution industrielle et économique de la Russie pendant ces dernières années

Elle est divisée en 3 parties :

La première partie est consacrée à la période comprise entre la fin du XIX^e^ siècle et la Révolution de 1917. M. J. Ordinaire y fait d'abord ressortir la variété et l'étendue des richesses naturelles de la Russie, tant au point de vue de l'agriculture et de l'élevage (culture des céréales, de la betterave, du lin, du chanvre et du coton, prairies et forêts immenses, etc...) qu'au point de vue minier (abondants gisements de naphte, de houille, de sel gemme, de fer et de cuivre et de presque tous les métaux usuels. Passant en revue les diverses industries qui en sont issues, il fait remarquer que l'industrie électrique n'est apparue en Russie qu'assez tard (ce n'est qu'en 1881 que fut construite la première centrale, malgré l'abondance du charbon et du cuivre).

Des importations russes de matériel électrique à l'étranger, notamment en Allemagne et en Angleterre sont mentionnées.

La seconde partie rappelle les origines de la Révolution de 1917, les modifications

Digitized by Google

territoriales, les caractères et les institutions du régime soviétique. L'auteur y examine l'évolution de ces institutions au point de vue économique depuis le début du régime, en passant d'abord par le « contrôle ouvrier », puis la nationalisation de toutes les industries (l'« Etat patron », puis à partir de 1922 le retour partiel au régime individualiste avec la N. E. P. (Nouvelle Politique économique) et l'organisation actuelle en « trusts », en « syndicats » et en « industries privées affermées ». Il insiste également sur la question des « concessions », sur lesquelles il donne quelques détails intéressants, en particulier les éléments d'un contrat de concession. Il cite enfin un certain nombre de concessions accordées par les soviets à des Sociétés Etrangères.

La troisième partie expose les résultats obtenus dans la période comprise entre 1917 et 1926, pour chacune des industries préexistantes et en plus pour les nouvelles apparues, en s'appuyant sur de nombreuses statistiques prises principalement dans le Bulletin quotidien de la société d'Etudes et d'Informations économiques, qui reproduit les données publiées par les Soviets De gros efforts ont été faits à partir de 1922-23, tant pour l'Electrification de la Russie (de nombreuses Centrales thermiques ou hydrauliques ont été construites) que pour l'équipement électrique des usines, enfin pour le recrutement du personnel technique.

Enfin dans une conclusion impartiale, M. Jean Ordinaire montre la diminution par rapport à la période d'avant-guerre pour chaque catégorie de production, tout en insistant sur leur progression marquée au cours de ces dernières années. Il termine par quelques considérations sur l'avenir des industries Russes et le rôle que seraient amenés à jouer au point de vue économique, en Russie, les Américains, les Anglais, les Allemands et les Français.

Aide-mémoire. Formulaires. Manuels.

Agenda d'Electricité pour 1928, par MM. P. Bunet et A. Ceytre, ingénieurs E.P.C.I — Un volume in-18 de 250 pages avec 90 figures, broché : 15 francs. (*Librairie J.-B. Baillière et fils*, 19, rue Hautefeuille, Paris). (Don de l'éditeur).

Que l'électricien soit un homme des cience sorti des grandes écoles ou un ouvrier avisé, il a sans cesse besoin de renseignements qui se traduisent par des chiffres dont les colonnes longues et ardues ne peuvent s'enregistrer dans son cerveau. Aussi lui faut-il un aide-mémoire qui lui puisse apporter instantanément ce qu'il réclame.

Ce manuel lui est présenté sous une forme commode, celle de l'agenda de poche, contenant les documents nécessaires classés méthodiquement et d'après une documentation rigoureuse.

La personnalité des auteurs est un sûr garant de la bonne conception de cette œuvre nouvelle qui rendra d'excellents services à ceux qui la consulteront.

On y trouvera notamment :

Tables des inverses pour les nombres entiers de 1 à 100. — Comparaisons entre les unités des mesures anglaises et celles du système métrique. — Poids des feuilles de différents métaux. — Poids des fers carrés, six pans et ronds. — Symboles et signes conventionnels internationaux utilisés en électricité. — Unités électriques et leurs multiples et sous-multiples. — Unités pratiques de travail et de puissance. — Correspondance entre les chevaux et les kilowatts. — Résistances. — Fils en cuivre émaillé. — Fils de maillechort. — Courant continu. - Courants alternatifs. — Conducteurs en cuivre. — Section en millimètres carrés — Mesures. — Résistance mécanique des supports de lignes aériennes sur potelets. — Conducteurs et canalisations. — Fils et câbles en bronze. — Enroulements des dynamos à courant continu. — Schéma d'induits, d'alternateurs et de stators de moteurs asynchrones. — Couplage en parallèle des alternateurs. — Moteurs à courant continu — Moteurs asynchrones à courant alternatif monophasé diphasé et triphasé. — Dérangements qui se produisent le plus fréquemment dans le fonctionnement des dynamos, alternateurs et moteurs asynchrones. — Transformateurs statiques. Accumulateurs. — Eclairage et chauffage électriques. — Piles, sonneries, téléphones. — Législation et réglementation. — Conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

1° Réunion mensuelle du 2 Mars 1898.

Présidence de M. D'ARSONVAL.

1° M. Paul JANET, présente au nom de Maurice BOUCHET un système nouveau de rupture de courant.

Une cuve isolante contenant du mercure est séparée par une cloison médiane isolante, en deux cellules reliées chacune à l'un des conducteurs du circuit à couper.

Deux pistons, plongeant dans ces cellules font varier le niveau du mercure. Quand celui-ci recouvre la cloison isolante, le circuit se ferme : il s'ouvre quand le mercure baisse au-dessous de la cloison. La rupture est brusque, étant retardée par la cohésion du mercure.

L'auteur indique les applications qu'il a faites de son système aux interrupteurs simples, aux disjoncteurs à minimum, aux appareils de commande à distance. Les conditions les plus sévères de fonctionnement ne dépassaient d'ailleurs pas 3 200 V et 12 A ou 500 V et 150 A.

M. D'ARSONVAL rappelle à ce propos qu'il a employé pour réaliser une résistance variant de zéro à l'infini, un tube en U muni en son milieu d'un robinet de grès et rempli de mercure.

2° M. BARBARAT, Ingénieur des P.T.T. décrit les câbles télégraphiques et téléphoniques à circulation d'air sec, qui avaient remplacé depuis 1893 les anciens câbles à la gutta et les câbles isolés au papier avec bouchons de paraffine fabriqués par la Western C°.

La réparation des défauts sur ces câbles est facilement assurée par l'injection d'air comprimé et desséché.

M. BARBARAT signale qu'un de ces câbles a été posé sur une longueur de 64 km, entre Marseille et Toulon et il suggère aux Industriels d'essayer le même système pour le transport des courants forts.

2° Extrait du Bulletin.

M. DUCRETET écrit que M .le Professeur POPOFF lui a adressé un mémoire publié en 1895, établissant qu'il a réalisé avant M. MARCONI, un appareil de transmission des signaux à distance à l'aide des vibrations électriques rapides.

L'Imprimeur-Editeur : Etienne CHIRON, Paris.

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Assemblée générale du Mercredi 18 Avril 1928, p. 327.
Adoption du rapport de la Commission des Comptes.
Réunion ordinaire mensuelle du Mercredi 18 Avril 1928, p. 327.
Admission des Membres titulaires, p. 328.
Membres décédés, p. 328.
Distinctions accordées aux Membres de la S. F. E., p. 328.
Dons à l'Ecole Supérieure d'Electricité, p. 328.

DISCUSSIONS DE LA SEMAINE D'OCTOBRE 1927 (1) (Suite) :

3e Section : Sommaire, p. 330. — Les fours à induction (MM. BUNET, RIBAUD, BOUCHEROT, MATHIVET, DIDIERJEAN, BERGEON, LIÉNARD, POMEY, DARRIEUS), p. 331. — Le réglage des fours électriques à résistance et à arc (MM. MATHIEU, BERGEON, BUNET, DANNATT), p 349. — La soudure électrique (MM. LANGEPIN et BRILLIÉ), p. 356. — L'arc électrique de soudure (MM. BRILLIÉ, KERALY, LANGUEPIN, BETHENOD, DELAMARRE), p. 359.

4e Section : Sommaire p. 369. — Comparaison entre le courant continu et le courant alternatif (MM. MATHIVET, DEMANY, GENISSIEU, RIEUNIER, BUNET, SCHWOB), p. 370. — Présentation des rapports suivants : le problème de la sécurité dans les chemins de fer (M. LEMONNIER). — Les considérations générales sur la signalisation automatique des chemins de fer (M. LALOY). — Les postes d'aiguillage (M. COUREL), p. 381. — La récupération jusqu'à l'arrêt complet des trains ; le système de traction A. D. R. à courant continu, à démarrage sans résistance et à récupération d'énergie (MM. GUERY, DELLA RICCIA, DEMANY, GRATZMULLER), p. 382.

5e Section : Sommaire p. 393. — Les hauts-parleurs (MM. POMEY, LANGE, Louis CAHEN, BETHENOD), p 393. Les systèmes modernes d'horlogerie électrique (MM. GOSSELIN et POMEY), p. 399. — La remise à l'heure automatique des pendules par T. S. F. (MM. POMEY, LAVET, REYNAUD-BONIN, Ateliers BRILLIÉ), p. 400.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

4e série, tome VIII, avril 1928, n° 80.

Digitized by Google

6e *Section :* Sommaire p. 405. — Les machines à courant continu avec ou sans collecteur (MM. JANET, BUNET, ILIOVICI, POMEY, GRATZMULLER. LIÉNARD, GIRAULT) p. 405. — Erreur introduite par les transformateurs dans la mesure d'une puissance et d'une énergie (MM. ILIOVICI et GENKIN), p. 429. — Détermination des densités de courant admissibles en raison des échauffements dans les conducteurs isolés au caoutchouc (MM. LEMENAND, LEBAUPIN, PASCAL), p 431.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ELECTRICIENS :

Annonce du prix triennal George MONTEFIORE, p. 435.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 439.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 439.

IL Y A TRENTE ANS, p. .

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du Mercredi 18 Avril 1928

Présidence de M. Reynaud Bonin.

En l'absence de M. Imbs, excusé, la Présidence est assurée par M. Reynaud Bonin.

L'Assemblée générale est ouverte à 20 h. 30 (1).

M. Darrieus lit le rapport établi par les Commissaires aux comptes. Ce rapport mis aux voix est adopté à l'unanimité.

M. Janet, Directeur du Laboratoire Central et de l'Ecole Supérieure d'Electricité, donne lecture de son rapport annuel sur ces deux établissements.

M. Darrieus, Secrétaire général, résume le rapport du Comité d'Administration.

L'Assemblée générale est levée à 21 h. 15.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Mercredi 18 Avril 1928

Présidence de M. Reynaud Bonin.

La séance est ouverte à 21 h. 15.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

(1) Les rapports lus ou résumés en séance seront publiés *in extenso* dans le *Bulletin* de mai 1928.

Digitized by Google

Cabet (Georges-Charles), ingénieur-conseil, Eclairage de studios-ciné, 3, rue Torricelli, Paris (17e). — Présenté par MM. Belin et Bochet.

Compagnie Lorraine de Charbons pour l'Electricité, 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e). — Présenté par MM. Leblanc et Mayeur.

Dumartin (Pierre-Edouard-Lucien), directeur commercial adjoint des Etablissements Merlin et Gérin, 84, avenue Marceau, à Courbevoie. — Présenté par MM. Gérin et Darrieus.

Gignoux (Jean-Paul-Marie-Emmanuel), administrateur délégué des Etablissements Collet Frères et Cie, 10, quai de la Guillotière, Lyon. — Présenté par MM. Dumont et Collet.

Guttierrez-Samper (Albert), directeur et associé de l'Entreprise générale électrique, 39, rue Saint-Rémy, à Bordeaux. Domicile, 61 *bis*, rue Pierre-Duhem, à Bordeaux. — Présenté par MM. Thierry et Rousseau.

Isselin (Ernest-Adrien), directeur commercial de la Société des Etablissements industriels de E.-C. Grammont et d'Alexandre Grammont, 108, boulevard de Rochechouart, Paris (18e). — Présenté par MM. Bunet et Vuigner.

Lavalette (Guillaume-André), ingénieur régional de la Société générale des Huiles de Pétrole, ingénieur A. et M., 29, cours Gallieni, Bordeaux. — Présenté par MM. Ledieu et Rousseau.

Lebouteux (Henri-Louis-Alexandre), ingénieur à la Société L'Aluminium Câblé, 63, avenue des Champs-Elysées. Domicile, 22 *bis*, rue Vallier, Levallois. — Présenté par MM. Toulon et Reynaud-Bonin.

Letertre (Gaëtan-Maxime-Léon), associé principal de l'Entreprise générale Electrique, 39, rue Saint-Rémy, à Bordeaux. Domicile : 117, rue Camille-Godard, Bordeaux. — Présenté par MM. Rousseau et Tissot.

Nestler (Frédéric-Clément-Georges), industriel, rue Balny-d'Avricourt, Paris. — Présenté par MM. Bossu et Jouaust.

Pezopoulos (Georges), ingénieur-électricien, diplômé de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Athènes, 145, rue du Trois-Septembre, Athènes (Grèce). — Présenté par MM. Pézopoulos et Jouvion.

Vechembre (Maurice-Louis-Fleury), ingénieur-conseil, 4, rue Richard-Cœur-de-Lion, Agen (Lot-et-Garonne). — Présenté par MM. Delasalle et Rousseau.

Vincent (Marc), ingénieur à la Compagnie du Gaz de Lyon, 3, quai des Célestins, Lyon. — Présenté par MM. d'Aubenton Carafa et Rivière.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président fait part du décès de MM. Arnoux René, ancien vice-président de notre Société, Michel, Charles, ancien membre du Comité et de MM. Castex Georges, Gris Pierre, Guilhem Eugène et Paumier Georges.

Il adresse aux familles des disparus les condoléances de la Société.

M. le Président annonce que notre collègue M. Guido Semenza, Président de la Commission Electrotechnique internationale, vient d'être élevé au grade d'Officier de la Légion d'Honneur, pour la participation très brillante qu'il a fait prendre à la Section italienne à l'exposition de Grenoble.

M. le Président annonce les dons suivants faits à l'Ecole Supérieure d'Electricité :

1° Par la maison Bocuze et Cie : 2 000 fr. de matériel;

2° par MM. Legendre et Frères : 1 moteur pour machine-outil d'une valeur de 1 500 francs.

Il exprime à ces deux Etablissements les remerciements de la Société.

Digitized by Google

Il remercie les donateurs des ouvrages offerts dont la liste est donnée dans le présent bulletin.

M. TRAVERSE, Ingénieur, chef du service des recherches aux Etablissements Merlin et Gérin présente une communication sur « *la technique nouvelle des disjoncteurs dans l'huile à grande puissance de rupture et à haute tension* » (1).

Après un rappel des propriétés fondamentales de l'arc électrique, il expose les relations approchées que l'expérience a révélées entre la puissance dissipée dans l'interrupteur, le volume et la nature des gaz libérés, enfin la forme et les dimensions, les pressions et température des bulles gazeuses entourant l'arc. Il termine par une comparaison entre les interrupteurs munis de chambres d'explosion et ceux à rupture normale.

M. le Président remercie M. TRAVERSE de sa très intéressante communication.

MM. POMEY, MASSON et KLONINGER présentent quelques observations.

La séance est levée à 23 heures.

---

(1) Cette communication sera publiée dans un prochain *Bulletin*.

Digitized by Google

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1927

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS (*suite*)

Séance du Mercredi 26 Octobre 1927.

3e SECTION. — ÉLECTROMÉTALLURGIE. — ÉLECTROCHIMIE. PILES. — ACCUMULATEURS

SOMMAIRE

1° Discussion du rapport de M. BUNET sur les fours à induction. — M. BUNET : errata aux Bulletins d'avril et de juillet 1927, p. 330. — M. RIBAUD : réponse à M BUNET au sujet des théories des fours à haute fréquence, p. 331. — M. BUNET : réplique à M. RIBAUD, p. 334. — M. BOUCHEROT : note sur la controverse de MM. BUNET et RIBAUD, p. 335. — MM. MATHIVET, BUNET, DIDIERJEAN, BERGÉON : facteur de puissance des fours ; utilisation des fours pendant les heures creuses, p. 339. — MM. LIÉNARD, BUNET : fréquences particulières pour fours à induction, p. 343. — M. POMEY : rappel d'une formule de Poincaré sur l'induction et des calculs de Vaschy sur la chaleur dissipée dans le sol par induction, p. 344. — M. DARRIEUS : observations sur l'effet de peau, p. 346. — M. BUNET : observations sur le fonctionnement des fours de fusion à basse fréquence, p. 348.

2° Discussion du rapport de M. MATHIEU sur le réglage des fours électriques à résistance et à arc. — MM. BERGEON et BUNET : observations sur le réglage des fours, p. 349 — M. BANNATT : réglage des fours électriques à résistance et à arc, système de la Société Cambridge, p. 351

3° Discussion du rapport de M. LANGUEPIN sur la soudure électrique — MM. BRILLIÉ et LANGUEPIN : observations sur la fragilité des soudures, p. 356.

4° Discussion du rapport de M BRILLIÉ sur l'arc électrique de soudure. — M. KERALY : observations sur la vérification des soudures, p 359. — MM LANGUEPIN, BRILLIÉ, KERALY : enrobage des électrodes, p 361. — M. le Président. MM. BRILLIÉ, BETHENOD : contrôle des soudures par le spectre magnétique, p 363. — M X : emploi de la soudure électrique pour les constructions métalliques en Belgique, p. 364. — MM. LEBAUPIN, BRILLIÉ, LANGUEPIN : emploi de la soudure électrique pour la connexion des rails, p. 365 — M. DELAMARRE : emploi de la soudure à l'arc pour la jonction des rails, p. 366.

Président : M. CHAUMAT.

Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, la séance est ouverte.

L'ordre du jour appelle la discussion de la longue étude de M. BUNET sur *les fours à induction*. Cette savante étude, qui apporte une collaboration de premier ordre à la technique du four électrique, a fait l'objet de communications dans les bulletins d'avril et de juillet 1927 de la Société française des Electriciens.

Ce travail est tellement important que je vais prier M. BUNET de vouloir bien nous en donner lui-même un résumé rapide.

Digitized by Google

M. BUNET rappelle rapidement les communications qu'il a faites devant la 3e Section au sujet des fours à induction, reproduites de manière très résumée, trop résumée peut-être, dans les bulletins d'avril (page 465) et de juillet (pages 807 à 824). Il signale quelques erreurs typographiques dans le tableau de la page 811 qui doit être ainsi établi :

Grandeurs	Formules générales	Pour cos φ maximum
P	$\left(\frac{U_1}{n}\right)^2 \frac{R_2}{R_2^2 s^2 + 6{,}4 \frac{X^4}{A_m^2}(s-1)^2 f^2 . 10^{-14}}$	$\left(\frac{U_1}{n}\right)^2 \frac{1}{R_2} \frac{1}{s(2s-1)}$
$\cos \varphi_1$	lire X^4 au lieu de X^2 sous le radical seulement, au dénominateur	$\frac{1}{2s-1}$
$\operatorname{tg} \varphi_1$	remplacer $\frac{1}{4} s$ par $4s$ et $(s-1)$ par $\frac{s-1}{4}$	$2\sqrt{s(2s-1)}$
ρ_1	lire X^4 au lieu de X^2 sous le radical seulement, au numérateur et au dénominateur	
f	quelconque	$\frac{R_2 A_m}{8\pi^2 S_2} \sqrt{\frac{s}{s-1}} 10^{-9}$

Page 821, au lieu de $cX < \varphi$, lire $cX > 5$.

M. RIBAUD, Professeur à l'Université de Strasbourg, nous a adressé la note ci-après :

Dans les résumés de ses communications à la Section d'électrochimie publiés au *Bulletin de la Société française des Electriciens* (juillet 1927, p. 807, 814 et suivantes, M. BUNET a bien voulu faire une brève allusion à la théorie du four à haute fréquence que nous avons développée nous-mêmes dans deux articles au *Journal de Physique* (1).

Il nous a paru utile de résumer en quelques mots les éléments essentiels de notre théorie et de la rapprocher de celle de M. BUNET en présentant quelques remarques au sujet de cette dernière.

Dans notre premier article, nous avons eu soin de préciser que nous envisagions seulement le cas, le plus intéressant en pratique d'ailleurs, où le cylindre conducteur plein, placé à l'intérieur de l'enroulement primaire, possède un rayon notablement supérieur à l'épaisseur de la couche de peau ; un calcul assez classique (2) montre

(1) G. RIBAUD, *Journal de Physique*, p. 185, juin 1923 ; p. 250, août 1926.
(2) Voir par exemple BOUASSE, Magnétisme et Electricité, Applications, 2e édition, p. 88.

Digitized by Google

qu'un tel cylindre, placé dans un champ alternatif uniforme, parallèle à son axe, est parcouru superficiellement par des courants induits circulaires répartis en profondeur suivant une loi exponentielle; tout se passe alors comme si l'on remplaçait ces courants par une couche, de densité uniforme, d'épaisseur égale à la couche d'effet skin, telle qu'on est habitué à la considérer dans la propagation longitudinale du courant.

Il est alors facile de calculer la résistance r, la self-inductance l de la charge, l'intensité i induite dans cette charge ainsi que le rendement du four. Les expressions que nous avons données dans notre premier mémoire sont parfaitement correctes et permettent de traiter aisément tous les cas pratiques. Ces formules sont confirmées par des mémoires étrangers plus récents ; celles relatives à la résistance r et à la puissance recueillie dans la charge sont d'ailleurs en parfait accord avec les expressions données par M. Bunet dans le même cas (cas a) p. 816 et 817). Nous n'avions pas insisté sur le facteur de puissance qui joue un rôle secondaire comme nous le verrons plus loin.

Dans le cas où l'épaisseur de la couche d'effet skin n'est plus négligeable par rapport au rayon du cylindre, les calculs complets sont très longs et nous avions cru devoir nous borner à des indications d'ordre général et à des lois qualitatives. M. Bunet a tenté de traiter ce cas par le calcul, malheureusement, l'équation différentielle d'où il part (p. 815) est incomplète (1), ce qui enlève toute valeur aux nombreux tableaux, formules et valeurs numériques donnés au cours du texte. Le calcul complet a été fait par J.-O. Strutt dans un mémoire récent (2) et le lecteur pourra s'y reporter; les formules, d'application assez laborieuse, se ramènent aux nôtres dans le cas simple envisagé plus haut.

Dans tous nos mémoires, nous n'avions pas cru devoir expliciter la résistance du solénoïde primaire qui joue un rôle important dans le rendement.

Nous avions toutefois précisé que, si l'on admet (comme le fait M. Bunet p. 812 et suivantes) des courants se propageant uniformé-

---

(1) Voir Bouasse (*loc. cit.*). Il suffit d'éliminer le champ H entre les équations en gardant comme variable la densité de courant σ, on arrive à l'équation

$$\frac{\partial^2\sigma}{\partial\rho^2}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial\sigma}{\partial\rho}-\frac{\sigma}{\rho^2}=4\pi c\frac{\partial\sigma}{\partial t},$$

(ρ distance de l'axe à la tranche considérée).

L'intégration de cette équation nécessite l'emploi des fonctions de Bessel.

(2) J.-O. Strutt, *Ann. der Physik.*, 82, p. 605, 1927.

Digitized by Google

ment tout autour du tube qui constitue l'enroulement, on arrive à des résultats incorrects.

Le problème a été étudié théoriquement par SOMMERFELD (1) : dans le cas limite où on envisage des spires plates de section rectangulaire, infiniment rapprochées, la propagation ne se fait que sur la couche *intérieure* du solénoïde, dans une épaisseur égale à la couche d'effet skin (2). En pratique (spires circulaires ou aplaties non jointives), on s'écarte un peu de ce cas théorique ; des mesures systématiques dont la publication est en cours, nous ont toutefois montré que, dans les exemples envisagés par M. BUNET au cours de son article, les résistances calculées par lui sont notablement trop faibles (3 à 4 fois au moins).

Dans nos deux articles, nous avons jugé utile d'insister beaucoup sur le rendement, nous avons fait en particulier l'étude systématique complète du rendement en fonction de la fréquence d'alimentation du four. Cette étude, confirmée en tous points par le mémoire de STRUTT, montre que le rendement, d'abord maximum et constant pour les fréquences élevées, décroît assez rapidement à partir d'une certaine fréquence et tend vers zéro quand la fréquence baisse, de sorte qu'en pratique il faudra se maintenir à des fréquences assez voisines du maximum de rendement, quitte à compenser le facteur de puissance.

Nous avons précisé également les conditions à remplir pour que le maximum de rendement soit atteint : rayon du cylindre grand par rapport à l'épaisseur de la peau, épaisseur du tube de l'enroulement grande par rapport à l'épaisseur de la peau, dans le métal de l'enroulement.

Signalons enfin que, lorsque la fréquence s'abaisse, le facteur de puissance, d'abord faible pour les fréquences élevées, augmente et tend vers 1 pour les très basses fréquences (3) ; il se trouve d'ailleurs que, en général, les valeurs des fréquences pour lesquelles cos φ

(1) SOMMERFELD, *Ann. der Physik*, 15, p. 692, 1904. — Pour le résumé de cette théorie, voir BOUASSE, *Ondes hertziennes*, p. 149.

(2) En se reportant aux formules données dans notre second mémoire, on arriverait à cette conclusion qu'un cylindre de cuivre froid chauffé dans un enroulement de même métal ne peut pas fournir un rendement supérieur à 0,50.

(3) Cela résulte immédiatement des formules générales que nous avons données (2e mémoire) pour la self apparente et la résistance apparente du four en charge. Sans expliciter les coefficients, on voit aisément que tg φ tend respectivement vers O et vers l'infini quand ω tend vers O ou l'infini.

Le maximum du facteur de puissance indiqué par M. BUNET n'existe pas ; cela tient vraisemblablement au fait que M. BUNET néglige la résistance de l'enroulement primaire au dénominateur de l'expression de tg φ.

Digitized by Google

devient voisin de 1 correspondent à de très mauvais rendements, de sorte qu'en pratique on adoptera les fréquences les plus basses *compatibles avec un bon rendement* et non avec un bon facteur de puissance.

M. BUNET. — M. RIBAUD se réfère aux articles qu'il a publiés dans le *Journal de Physique ;* le second, résumant le premier, a paru dans les numéros d'août 1926 (Série VI, t. VII, n° 8, p. 250). Les résultats de M. RIBAUD présentent, avec ceux que je donne, des différences assez grandes qui s'expliquent aisément comme suit :

Le coefficient de self inductance secondaire l que M. RIBAUD considère selon son équation

$$l\frac{di}{dt} + ri + \mathrm{M}\frac{d\mathrm{I}}{dt} = 0,$$

où i, I sont les courants secondaire et primaire, équation bien connue et dont je pars également dans une de mes façons de traiter le problème, n'a pas la définition que je lui donne. M. RIBAUD, en effet, en citant le travail de NORTHRUP dit : NORTHRUP admet en particulier « que, dans tous les cas, on peut égaler la résistance ohmique r de « la charge et son impédance $l\omega$; il suffit de se reporter à l'expres- « sion $l\omega$: r donnée dans notre précédent mémoire pour se con- « vaincre que, dans le cas de très hautes fréquences, cette hypothèse « est loin d'être valable. »

Je n'ai, dans mes présentations à la 3e Section, jamais songé à assimiler l'inductance totale d'un circuit secondaire avec l'inductance spéciale résultant de l'effet Kelvin de la charge secondaire. Je suis d'avis qu'il n'y a aucun rapport entre ces quantités et que d'ailleurs, NORTHRUP a raison d'écrire $r = l\omega$, mais alors le coefficient l n'est pas celui de l'équation ci-dessus.

Une seconde divergence existe, je crois, dans la définition de l de la formule ci-dessus qui résulte de la seconde interprétation de M. RIBAUD, soit $\mathrm{M} = nl$, où n est le nombre de spires primaires. Cette relation implique forcément que, dans l'inductance secondaire totale, on ne conserve que ce qu'on peut appeler l'inductance d'enroulement — et M. RIBAUD le spécifie nettement, je pense — en négligeant l'inductance λ provenant de la nature de la charge secondaire.

On sait depuis longtemps (et je l'ai rappelé ici-même l'an dernier dans une communication avec M. BERGEON) que, dans la résolution des équations du transformateur, les coefficients d'induction totale disparaissent ; il ne reste que des différences. Il en résulte que, si l'induc-

Digitized by Google

tion provenant de la charge secondaire λ est généralement négligeable devant l'inductance d'enroulement secondaire l, on ne peut néanmoins supprimer sa valeur ; au lieu de l il faut garder $l + \lambda$ quoique λ ne soit qu'une petite fraction de l; on le vérifie facilement. Autrement, λ n'apparaissant plus dans les formules, on admet forcément que, *dans tout transformateur, le courant primaire et son déphasage sont indépendants de l'inductance de la charge secondaire.* En gardant λ comme je le fais à la page 817, on arrive à de tout autres valeurs qu'en suivant la marche indiquée par M. RIBAUD, pour le primaire et son déphasage notamment, quantités d'importance primordiale (1). Ceci s'applique à tout transformateur, four en particulier.

MM. RIBAUD et BUNET *ayant demandé ultérieurement l'avis de* M. BOUCHEROT *au sujet de cette controverse, celui-ci nous a envoyé la note suivante :*

Je prie MM. BUNET et RIBAUD de m'excuser si je ne reprends pas *tous* les détails de leur discussion.

Les équations générales (*a*) et (*b*) posées par M. RIBAUD dans son mémoire de 1926 page 2, qui sont d'ailleurs les équations classiques du transformateur, sont exactes, à condition que l soit la self-inductance totale du circuit secondaire. Mais il me semble alors que la valeur donnée à l, page 3, $\left(l = \frac{\pi^2 d^2}{h}\right)$ est considérablement plus grande que la réalité. Ce serait en effet la self-inductance d'une spire de diamètre d, en fil plat de largeur h ; ce n'est pas celle d'un cylindre dans lequel l'épaisseur de la peau ε est petite vis-à-vis du rayon ; celle-ci est

$$l = \frac{2\pi^2 d}{h\omega}\sqrt{\rho N},$$

à cause, justement, de l'influence *étouffante* des courants de FOUCAULT sur le flux variable. Même pour une fréquence extrêmement faible, pour laquelle la densité de courant serait proportionnelle à la distance au centre, le quotient du flux par le courant ne serait pas $\frac{\pi^2 d^2}{h}$,

(1) Dans une note qui paraît ci-après, M. BOUCHEROT a calculé par une élégante méthode, plus directe et rapide, les puissances primaires active et réactive dans le cas de la peau mince. On voit aisément que son expression de la puissance active est identique à celle que je donne, aux notations près, et que l'expression de tg φ_1 que j'indique correspond, sauf une différence secondaire et facilement explicable, au rapport des deux puissances réactive et active de M. BOUCHEROT.

Digitized by Google

mais $\frac{\pi^2 d^2}{2h}$: mais, pourrait-on même appeler cela encore la self-inductance?

En vérité, on abuse de certains mots créés dans une circonstance particulière, pour un cas spécial, en en généralisant l'emploi. Le symbole l ci-dessus est bien homogène à une self-inductance, mais il ne peut pas être question de self-inductance dans ce phénomène complexe.

En réalité, la notion de self-induction doit être limitée à quelques cas très particuliers.

C'est pourquoi je me permets ci-après de traiter de nouveau le problème par une méthode très simple, qui, il me semble, conduit plus sûrement au résultat, et mettra, je pense, ces Messieurs d'accord.

Qu'il me soit permis cependant de rappeler d'abord que, au fond, ce problème diffère très peu de celui des courants de FOUCAULT dans des lames plates que j'ai traité en général dans une note parue au *Bulletin de la Société française des Electriciens* d'avril 1905, p. 336 et suivantes, où j'ai donné les formules de la self-inductance apparente et de la résistance apparente (je ne dis pas l'impédance) du primaire chargé (la forme du conducteur massif est seulement différente) ; l'on pourrait se contenter de transposer ce qu'il y a dans cette note. Mais comme ces Messieurs se bornent au cas où l'épaisseur de la « peau » est petite par rapport au rayon, il me semble bien plus commode d'appliquer un mode de calcul dérivant d'une autre de mes communications, parue dans le *Bulletin de la Société française des Electriciens* de novembre 1908, p. 663.

Au lieu de nous donner le courant primaire, et d'en déduire le courant secondaire, faisons l'inverse. La densité de courant instantanée dans le cylindre plein sera, par exemple :

$$j = J_s e^{-bx} \cos(\omega t - bx),$$

J_s étant le maximum de la densité superficielle,

x la distance depuis le bord vers l'axe,

et $b = \sqrt{2\pi\mu\gamma\omega}$, comme toujours ($\gamma$ conductivité, μ perméabilité).

L'induction $\mathcal{B}$ dans la masse peut alors se déduire de l'une ou l'autre des relations :

$$\frac{\partial \mathcal{B}}{\partial x} = -4\pi\mu j \quad \text{et} \quad \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t} = -\frac{1}{\gamma}\frac{\partial j}{\partial x}.$$

C'est

$$\mathcal{B} = \mathcal{B}_s e^{-bx} \cos\left(\omega t - bx - \frac{\pi}{4}\right),$$

Digitized by Google

avec

$$\mathcal{B}_s = 2J_s\sqrt{\frac{\pi\mu}{\gamma\omega}}.$$

Le courant total instantané dans le cylindre est alors :

$$h\int_0^\infty j\,dx = \frac{J_s h}{2b}(\sin\omega t + \cos\omega t).$$

Et le flux total instantané dans un cercle de diamètre d :

$$\pi d\int_0^\infty \mathcal{B}\,dx = \frac{\pi d\mathcal{B}_s}{2b}\left(\sin\omega t + \cos\omega t - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{\pi d J_s}{\gamma\omega}\sin\omega t.$$

Sa dérivée est égale à $\frac{\pi d J_s}{\gamma}\cos\omega t$, qui est bien, d'autre part, d'après la densité à la surface $J_s\cos\omega t$, la chute ohmique le long d'un cercle extérieur de longueur πd.

Supposons d'abord que le primaire soit exactement contre le cercle de diamètre d et qu'il n'ait pas d'épaisseur ; nous verrons ensuite ce qu'il en est autrement.

L'induction à la surface du cylindre $\mathcal{B}_s\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$ est la seule qui ne soit pas influencée par les courants de Foucault. Si on admet, comme ces Messieurs l'ont fait, que le cylindre est assez long pour qu'on puisse négliger l'influence de la réluctance de l'air extérieur, nous avons, entre cette induction à la surface et le courant i dans le primaire de n spires, la relation

$$4\pi n i\mu = h\mathcal{B}_s\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right),$$

qui nous donne le courant instantané primaire i :

$$i = \frac{J_s h}{2bn}\sqrt{2}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right),$$

et sa valeur efficace $I = \frac{J_s h}{2bn}$; d'où J_s en fonction de I.

La tension efficace primaire, en négligeant la résistance, se déduit du flux ; c'est

$$U = \frac{n\pi d J_s}{\sqrt{2}\gamma} = \frac{\pi d}{h}n^2\frac{b}{\gamma}\sqrt{2}\,I.$$

Le déphasage étant $\frac{\pi}{4}$, la puissance réelle absorbée par le primaire est

$$\frac{UJ}{\sqrt{2}} = \frac{\pi d h J_s^2}{4b\gamma} = \frac{\pi d}{h}\frac{b}{\gamma}n^2 I^2 = \frac{h}{2\pi d}\frac{\gamma}{b}\frac{1}{n^2}U^2.$$

On vérifie aisément qu'elle est égale à

Digitized by Google

$$\pi dh \int_0^\infty \frac{d^2}{\gamma}\, dx.$$

La puissance réactive est égale à la puissance réelle ; il est bien évident, en effet, que, par hypothèse le primaire n'ayant pas de fuites, ni de résistance, les puissances réelle et réactive y sont rigoureusement les mêmes qu'au secondaire.

Maintenant, supposons qu'il y ait un écartement a entre le primaire et le cylindre et que ce primaire ait une épaisseur c. Le flux de fuite dans l'écartement sera

$$\frac{4\pi ni}{h}\,\pi da \quad \text{(à peu près)},$$

donnant lieu à une tension supplémentaire :

$$\frac{4\pi^2 n^2 da}{h}\,\frac{di}{dt},$$

et à une puissance réactive supplémentaire :

$$\frac{4\pi^2 n^2 da\omega}{h}\left(\frac{J_s h}{2bn}\right)^2 = \frac{h\pi da J_s^2}{2\mu\gamma}.$$

Il est facile de se rendre compte que, pour tenir compte de l'épaisseur c, il faut remplacer a par $a + \frac{1}{6}c$; ce serait un peu long à développer, mais c'est classique.

Le rapport de cette puissance réactive supplémentaire à celle trouvée plus haut est :

$$k = 2\left(a + \frac{c}{6}\right)\frac{b}{\mu}.$$

b étant l'inverse de l'épaisseur de la peau ε, ce rapport peut se mettre sous la forme plus expressive :

$$k = 2\,\frac{a + \frac{c}{6}}{\mu\varepsilon}.$$

$a + \frac{c}{6}$ est quelque chose de l'ordre de quelques centimètres. Pour un cylindre de fer, à la fréquence 50, $\mu\varepsilon = 100$, et k est petit. La puissance réactive absorbée par le primaire reste à peu près égale à la puissance réelle.

Pour le même à la fréquence 5 000, $\mu\varepsilon = 10$, k est encore assez petit.

Mais pour un cylindre non magnétique, à la fréquence 5 000, on peut avoir $\mu\varepsilon = \frac{1}{5}$ et la puissance réactive totale absorbée est beau-

Digitized by Google

coup plus grande que la puissance réelle. A plus forte raison pour des fréquences plus élevées.

Ces conclusions peuvent mettre d'accord ces Messieurs : dans ce cas, l'influence des fuites (*extérieures* au cylindre métallique) peut faire que, au primaire, la self-inductance apparente soit beaucoup plus grande que la résistance apparente, mais ce sont les fuites qui sont cause de cela. L'influence de la capacité entre spires, aux grandes fréquences, peut évidemment modifier ces résultats.

M. MATHIVET. — Si nous avons bien compris, il semblerait que maintenant les fours à basse fréquence sont totalement condamnés et que l'on doit s'orienter vers les fours à haute fréquence à cause du mauvais facteur de puissance.

C'est très important pour les industries possédant des Centrales. Si on pouvait annexer à côté de ces Centrales des installations électrochimiques, cela permettrait de doubler leur production quotidienne, mais si nous devons adjoindre à ces Centrales des génératrices spéciales, cela ne les intéressera plus.

Un alternateur de 10 000 kW qui doit travailler avec un mauvais facteur de puissance, ne pourra plus faire que 2 000, et ce ne sera pas intéressant. Je suppose qu'il y a des dispositifs installés dans les environs du four, qui permettront de faire travailler les alternateurs de ces centrales dans des conditions acceptables ; ou bien ne doit-on étudier uniquement que les fours à haute fréquence pour être sûr d'avoir un cosinus φ acceptable et condamner les fours à basse fréquence?

M. BUNET. — Le four à induction à toute fréquence, est caractérisé par un mauvais facteur de puissance.

M. MATHIVET. — Alors il ne faut pas l'employer?

M. BUNET. — Ceux qui l'emploient mettent un groupe moteur-générateur dont le moteur est un moteur synchrone. L'exploitant peut faire $\cos \varphi = 1$ sur le réseau d'alimentation.

M. MATHIVET. — Vous consentez à ce que la génératrice de ce groupe spécial travaille dans de mauvaises conditions?

M. BUNET. — Les Américains avaient fait des fours à la fréquence 5 :

M. MATHIVET. — C'est exagéré, cela n'est pas intéressant du tout.

Digitized by Google

Pourquoi le font-ils? Les Américains sont des gens pratiques, ils doivent avoir une raison quelconque.

M. BUNET. — C'est un appareil qui leur donne certains avantages métallurgiques. Ils ont une rigole d'acier dans laquelle ils font passer du courant ; dans cet appareil, il n'y a pas de réaction chimique importante, on passe sur certains inconvénients pour l'alimenter.

M. MATHIVET. — En France, quelle est l'orientation actuelle? Y a-t-il beaucoup de fours à haute fréquence?

M. BUNET. — Il y en a surtout des petits.

M. MATHIVET. — Mais à 100 kW sont-ils à basse fréquence?

M. BUNET. — Pour remédier au bas facteur de puissance, on pourrait faire l'alimentation à très basse tension et alimenter par deux spires des deux côtés de la rigole (1).

On a objecté que les spires inductrices sont près du métal en fusion, ce qui peut être gênant si le four se perce. Quand les électriciens construisent un transformateur, ils ont la prétention de faire un appareil qui dure indéfiniment, tandis qu'en métallurgie on vit très bien avec des appareils se démolissant rapidement, en adoptant une hardiesse plus grande que celle d'un simple électricien.

En rapprochant les spires beaucoup, on arrive à avoir un transformateur passable.

On arriverait à faire des fours d'une centaine de kW qui auraient un facteur de puissance de 0,6 à la fréquence 50. On arriverait peut-être à un peu mieux.

M. MATHIVET. — Ce n'est pas encore très bon.

M. BUNET. — Faute de mieux... D'un autre côté, il y a des fours dont je vous ai parlé, extrêmement intéressants, dont le four Ajax, le four de la Compagnie des Métaux. Ces fours sont composés schématiquement d'un grand creuset comportant comme annexe, une spire mince, secondaire d'un transformateur assez bon. Le principe avait été indiqué dans un brevet Schneider. Il faut animer le métal, par un procédé quelconque, d'un mouvement de la spire au creuset. On doit ainsi arriver à des fours ayant des facteurs de puissance de l'ordre de

(1) Communication de M. BUNET, *Bulletin de la S.F.E.* de juillet 1927, p. 825.

Digitized by Google

0,75 ou 0,80, c'est-à-dire des facteurs de puissance de l'ordre de ceux qu'on a dans les installations de moteurs asynchrones.

Dans tout cela, il y a une question de hardiesse. On peut augmenter le facteur de puissance en plaçant le primaire tout près du secondaire, quitte à tolérer une détérioration plus rapide.

M. Mathivet. — Les plus grands fours dépassent-ils 200 kW?

M. Bunet. — Les Américains ont fait des fours de 20 tonnes, de plusieurs milliers de kilowatts.

En France, les plus grands fours installés ont, je crois, une centaine de kW, tout au plus.

M. Mathivet. — Je pense que la grande Centrale peut devenir le noyau d'industries annexes qui viendront s'agglutiner autour de ce foyer central pour qu'on arrive au rendement pratique idéal.

Au lieu que ce soit le courant que l'on transporte près de l'industrie chimique ou métallurgique, c'est l'industrie annexe qui devra venir auprès de la Centrale. Tout se réduit à une question de combustible brûlé, nous devons arriver au minimum de consommation et pour cela il faut agglutiner toute une série d'industries autour de chaque Centrale qui nous donnera un trafic véritablement rationnel.

M. Bunet. — Il y a beaucoup d'autres types de fours électriques, ce sont des fours à arc et courant alternatif, dont le facteur de puissance est meilleur.

M. Mathivet. — Ces fours à arc ont quelle puissance ?

M. Bunet. — 40, 50, 80 kW dans le cas des applications à la fonderie de bronze par exemple.

M. Mathivet. — C est encore tout petit. Pour saturer un alternateur de 10 000 kW, il faudrait beaucoup de fours.

M. Didierjean. — A quel prix pourrait-on avoir le courant, tout est là.

M. Mathivet. — Nous arriverons à un prix de vente très intéressant. Si vous allez vous installer sur l'endroit même où l'on produit le courant, vous aurez neuf chances sur dix de l'avoir à bon marché. A vue de nez, si vous allez vous installer à deux pas d'une centrale, vous paierez votre courant trois fois moins cher que dans la banlieue parisienne.

Digitized by Google

M. DIDIERJEAN. — Pour des produits électrochimiques, le prix du courant peut être de 5, 6, 7 centimes.

M. MATHIVET. — Avec l'amortissement?

M. DIDIERJEAN. — Certainement, à 5 centimes, on trouvera cela trop cher.

M. MATHIVET. — Dans les régions du Nord, où on produit le courant, il y a énormément d'industries chimiques, qui sont de gros consommateurs. C'est plus intéressant de vendre son courant sur place parce que vous êtes sûrs de n'avoir pas de transport à payer, et vous avez ainsi un débit assuré de votre marchandise.

UN MEMBRE. — En Belgique, nous avons la Centrale de Langerbrugge qui fait du carbure.

M. MATHIVET. — Pour le courant, uniquement le courant de nuit, vous pourriez baisser le prix pour les Centrales thermiques, mais à condition que vous consentiez à n'utiliser que le courant de nuit.

Si vous marchez de 1 heure à 4 heures du matin, certainement vous aurez des prix très intéressants et rémunérateurs. On pourrait engager les industriels comme vous à étudier la question et à provoquer eux-mêmes le mouvement d'adhésion pour venir saturer les heures creuses de nos Centrales. Seulement, je crois que c'est vous qui devez faire le premier pas.

M LE PRÉSIDENT. — Voilà où en est la question ; qui va commencer? Il faut faire de très bas prix aux électrochimistes.

M. MATHIVET. — A l'heure actuelle, de minuit à 4 heures du matin, vous pourriez disposer d'une puissance... mettons de 500 000 kW, qui dorment en ce moment tous les jours de minuit à 4 heures du matin dans les Centrales du Nord. Vous voyez le nombre d'industries chimiques et métallurgiques qui pourraient venir se greffer autour de ces différents noyaux qui comprennent une dizaine de Centrales.

A quatre heures du matin, on recommence à marcher et à onze heures, on arrive à un maximum, on redescend légèrement entre midi et une heure et on remonte progressivement jusqu'à 5 h. 1/2. Le travail de nuit serait intéressant parce que nos chaudières dorment aussi pendant ce temps-là et, même pour celles en service, leur utilisation est déplorable, et l'utilisation des autres est plus déplorable encore.

Digitized by Google

Il y a beaucoup de petites industries fort intéressantes à Lens, Courrières, Anzin, etc.. Je crois qu'on pourrait arriver à une formule vraiment économique pour le pays. Il faut regarder l'intérêt général de la nation.

Nous nous servons énormément de carbure dans nos chalumeaux à acétylène. Dans le Nord, nous sommes de gros consommateurs. Si nous faisions nous-même notre carbure dans ces heures creuses, il reviendrait à très bon marché. Il y a aussi les sous-produits du carbure, les engrais pour l'agriculture.

M. Bergeon. — Il y aurait intérêt à faire fonctionner des fours électriques avec l'énergie des Centrales thermiques, afin d'utiliser les machines pendant la nuit.

Le prix de l'énergie produite au charbon est encore trop élevé pour pouvoir l'utiliser en grande quantité à la fabrication des produits électrochimiques et électrométallurgiques. Ceux-ci ne peuvent être obtenus, actuellement en France, d'une façon économique qu'avec l'énergie provenant des chutes d'eau. Cependant, grâce aux progrès que l'on peut encore réaliser dans l'équipement des Centrales thermiques et dans la construction des fours, il est certain que, dans un avenir assez prochain, le charbon pourra faire sérieusement concurrence à la houille blanche pour la fabrication des principaux produits que l'on peut obtenir au four électrique. Dans tous les cas, ce ne sera sans doute pas avec les fours à induction, car ceux-ci ne paraissent pas pouvoir jamais absorber de très grandes puissances.

Un Membre. — On serait très ennuyé, pour la question de main-d'œuvre, en travaillant de façon discontinue comme on le ferait en utilisant les disponibilités des grandes centrales.

M. le Président. — Cela montre tout l'intérêt du problème et je vois qu'il y aura encore beaucoup de travail pour la 3e section.

M. Liénard. — Il y a un point que je ne m'explique pas du tout. Autrefois on déclarait que les fours d'induction nécessitaient des fréquences très basses, d'autant plus basses que les fours étaient plus puissants. Tout d'un coup, on en arrive aujourd'hui à utiliser de hautes fréquences. Comment cela se fait-il ?

M. Bunet. — Aux fréquences ordinaires avec les anciens fours à noyau de fer, on a un facteur de puissance très bas à cause de la dispersion ; on peut l'augmenter en baissant la fréquence. Lorsque l'on

Digitized by Google

a abordé la haute fréquence par la décharge oscillante du condensateur, on ne s'est pas inquiété du tout du facteur de puissance, cette considération n'intervenant pas directement ; quand on est passé à l'alimentation par alternateurs, on a constaté immédiatement, comme il fallait bien s'y attendre, des facteurs de puissance extrêmement bas, de l'ordre de 0,1 quelquefois.

Mais on peut admettre un facteur de puissance très bas à haute fréquence, à condition de le corriger par un condensateur, parce que le condensateur n'est pas très gros à fréquence élevée.

Il a une puissance apparente proportionnelle à la fréquence. Ainsi, à la fréquence 2 000 on obtient un facteur de puissance de 0,1 bien plus facile à corriger que si c'est à la fréquence 25.

M. Liénard. — Le condensateur devient indispensable?

M. Bunet. — Oui.

M. le Président. — N'oublions pas que la question du four à haute fréquence vient de naître, certaines questions particulières ne sont pas encore résolues. Si on veut toucher la grosse industrie, il faut améliorer ce qui s'était fait d'abord.

Un Membre. — Quand on a voulu avoir le chauffage dans le vide, les fours à haute fréquence sont nés, ils sont nés du besoin du four à vide.

Aujourd'hui, ils commencent à ne plus l'être ; il y a des usines qui s'aménagent avec des fours de grande puissance.

M. Bunet. — Remarquons que, pour les fours à basse fréquence, on a d'abord été plus bas que la fréquence normale ; on a été à la fréquence 5 ; puis on a perfectionné et maintenant on remonte. Les fours Ajax et analogues acceptent la fréquence 50. D'un autre côté les fours à haute fréquence ont d'abord employé des milliers et des dizaines de milliers de périodes par seconde, maintenant on s'abaisse à quelques centaines ; ils n'avaient jamais de fer ; on va leur en ajouter. En somme, on a fait comme très souvent lors des débuts d'une industrie ; on crée des appareils très disparates, puis on les voit converger autour de modèles classiques en nombre réduit.

M. Pomey. — H. Poincaré en 1905, dans les conférences d'électricité théorique, qu'il fit à l'Ecole Supérieure des P. T. T., fit l'étude du récepteur téléphonique. Le champ H à l'intérieur du noyau satis-

Digitized by Google

fait en régime permanent périodique harmonique simple à une équation de la forme :

$$\Delta H + \alpha^2 H = 0$$

analogue à celles que M. BUNET a considérées et il donne, dans les cas où la section est rectangulaire, la solution :

$$H = \frac{1+16}{\pi^2} \sum \frac{(-1)^{\frac{m-1}{2}+\frac{n-1}{2}}}{mn} \frac{\alpha^2}{\frac{m^2\pi^2}{4a^2}+\frac{n^2\pi^2}{4b^2}-\alpha^2} \cos\frac{m\pi x}{a} \cos\frac{n\pi y}{b},$$

$$H = 1 \quad \text{pour} \quad x = \pm a, \quad \text{ou} \quad x = \pm b.$$

Enfin, il étudie les courants de Foucault dans les noyaux et dans la plaque, mais il ne s'occupe guère que de l'influence relative des diverses réactions très complexes dont le téléphone est le siège.

On peut dire que dans les branches si différentes des diverses techniques, ce sont toujours les mêmes problèmes mathématiques qui se posent, soit qu'il s'agisse de gros courants, soit que les intensités soient infimes. Dans les fours, les courants de Foucault sont les courants utiles; mais, dans un téléphone, il faut les réduire, car l'échauffement qui leur est dû, ne peut que diminuer le rendement. On utilise la chaleur du four à induction ; le télégraphiste cherche à diminuer les courants de Foucault. Dans les deux cas, on a à calculer les mêmes effets d'induction.

Je vais me risquer à faire une improvisation : l'un des problèmes qui préoccupent le plus les ingénieurs du téléphone, c'est l'induction électromagnétique due aux lignes d'énergie et, quand ils envisagent un fil parcouru par un courant industriel, tendu au-dessus du sol, ils se demandent en quel endroit et à quelle profondeur on pourrait situer un fil fictif de retour. Peut-être serait-il possible d'avoir une certaine approximation de l'état électrique réel dans le sol, en utilisant les résultats des calculs faits par Vaschy dans son livre intitulé *Théorie de l'électricité*, p. 314 et suivantes. A vrai dire, ce que VASCHY a en vue, ce sont les phénomènes lumineux ; mais peu importe la grandeur de la fréquence, la description de la propagation des ondes, qui tombent à la surface d'un conducteur, demeure la même. Or VASCHY calcule l'énergie transmise au conducteur et la fraction de cette énergie qui se trouve dissipée sous forme de chaleur, lorsqu'il s'agit d'une onde plane qui vient frapper la surface obliquement. Alors je considérerai le conducteur industriel comme une source, qui émet des ondes électromagnétiques tout autour de lui, et de même valeur dans chaque secteur d'orientation, si nous négligeons d'abord la réaction du sol. Puis je

Digitized by Google

subdivise ce rayonnement, en un grand nombre de secteurs de l'espace, égaux entre eux et au moment où l'onde qui chemine dans un secteur arrive au voisinage immédiat du sol, je la traite comme si elle était sensiblement plane ; et je puis, par les formules de VASCHY, évaluer la chaleur qu'elle dissipe dans le sol. D'autre part, il est clair que l'on peut avoir une idée de la répartition du courant ; c'est une décroissance exponentielle au fur et à mesure que l'onde progresse. Si l'on pouvait supposer la fréquence du courant industriel assez grande, on n'aurait que des courants superficiels et alors la valeur de la chaleur dégagée indiquerait l'intensité qu'il y aurait lieu d'attribuer à cette nappe de courants à chaque point de la surface. Il n'y aurait guère à envisager de différences de phase, la vitesse de propagation dans l'air étant très considérable, comme l'on sait. On pourrait ensuite, au moyen de cette nappe connue, savoir quel potentiel vecteur A elle produirait en un point quelconque et avoir par suite, en calculant $-\frac{dA}{dt}$ la force électromotrice induite.

Ce serait une méthode d'approximation.

M. BUNET. — On ne peut faire que des approximations.

Revenant aux fours, nous parlions tout à l'heure de la difficulté d'avoir des condensateurs. On pourrait faire en certains cas, surtout quand on est en haute fréquence, des fours qui marchent sans condensateurs, par la capacité propre du four. Ces appareils seraient analogues comme conception aux inductances à capacité répartie que j'ai proposées pour la protection des lignes, me rencontrant là avec notre collègue M. LEDOUX.

M. DARRIEUS. — L'idée féconde de la coque équivalente que M. BOUCHEROT a introduite en électro-technique, pour calculer l'effet de peau, donne parfois lieu à certaines interprétations abusives.

Lorsque pour un conducteur circulaire isolé, la quantité

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{2RC\mu\omega}}$$

est faible vis-à-vis des dimensions du conducteur, tout se passe comme si le courant était uniforme et localisé dans une coque de cette épaisseur ε.

Seulement, je crois qu'on a mal interprété la pensée de M. BOUCHEROT en imaginant que la coque qui suit le périmètre d'un rail par exemple a tous ses points équivalents ; car si le courant a une répar-

Digitized by Google

tition en profondeur partout semblable, l'intensité égale en tous points *du contour*, n'est pas partout égale, et aux points saillants la densité est plus forte que dans les parties creuses.

Ainsi, dans le cas d'un conducteur dont la section aurait la forme

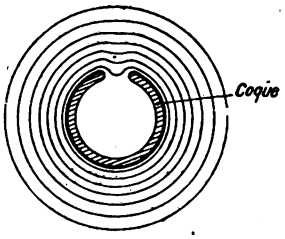


Fig. 1.

d'une cage de Faraday (fig. 1), toutes les lignes d'induction feront le tour comme si le conducteur était fermé, et il n'y aura pratiquement pas de courant sur la partie interne du périmètre.

Dans le cas de l'enroulement primaire d'un four à haute fréquence, si les spires sont jointes ou l'épaisseur de l'isolant négligeable —

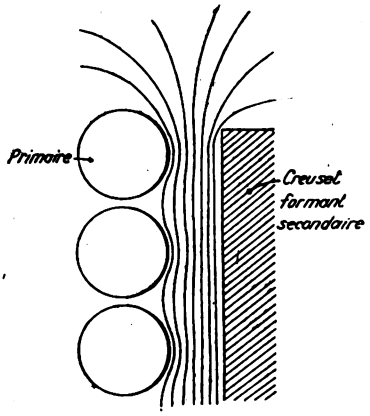


Fig. 2.

je dis ceci seulement pour fixer les idées, — il serait faux d'imaginer un effet de peau individuel qui permettrait au courant d'occuper toute la périphérie du conducteur (fig. 2); car le flux de fuites se trouve pratiquement canalisé dans l'intervalle qui sépare les deux enroulements, et comme la perméance du circuit de retour extérieur est très grande, le champ extérieur est quasi nul. Le calcul analytique serait très ardu, mais l'ingénieur dispose d'un procédé plus expéditif

Digitized by Google

et pratique, c'est l'emploi des figures de Lehmann. En effet, puisque la coque très mince ne contient qu'un flux excessivement faible, la condition aux limites n'est autre que l'absence de composante normale du flux, et comme la composante tangentielle du champ n'est finie que du côté interne, le courant restera nul sur tout le demi-cercle extérieur.

C'est ce qui explique l'accroissement relatif de pertes au primaire signalé par M. Ribaud.

M. BUNET. — Je voudrais faire une petite remarque au sujet du four à induction à fréquence un peu élevée, dans lequel on fondrait un métal. Lorsque nous avons le métal fondu, nous admettons que la résistance du métal correspond à celle d'une couche faible. Mais il ne faut pas croire que le four fonctionne comme si réellement on avait un tube réel, un tube infiniment mince qu'on chaufferait sans qu'il y ait rien à l'intérieur. La différence se traduit, si on ramène tout à la conception simple de la peau, par une réactance interne égale à la résistance.

J'ai indiqué qu'on aurait quelquefois intérêt à ajouter dans le four à induction une pièce en une substance peu conductrice, comme du charbon, qui déterminerait un vrai tube d'épaisseur plus faible que la peau calculée; cette pièce serait retirée au besoin pour faire les opérations, pour remuer la matière, pour faire toutes les manœuvres qu'on voudra, mais en travail régulier on aurait intérêt à chauffer un tube extrêmement mince plutôt que de chauffer la masse pleine. On obtiendrait quelquefois un facteur de puissance sensiblement plus élevé.

M. DARRIEUS. — Le flux est seulement le flux contenu dans la coque, et celui-là on ne peut pas le diminuer. Je crois que le flux intérieur est à peu près nul.

M. BUNET. — Si au lieu de chauffer une coque, vous chauffez une paroi, vous avez un facteur de puissance plus élevé; il faut faire une paroi réelle extrêmement mince, plus mince que celle résultant de la formule de l'effet Kelvin.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, nous allons arrêter la discussion qui est d'un grand intérêt et à peine ouverte.

Je remercie M. Bunet et ceux de nos collègues qui viennent d'ajouter leurs observations.

Digitized by Google

M. MATHIEU présente son rapport sur le *réglage des fours électriques à résistance et à arc* (1).

M. LE PRÉSIDENT. — On sent que M. MATHIEU a fait un travail considérable pour l'explication des régulateurs qui sont devenus nombreux, parce que la question est de la plus haute importance et que tous les constructeurs se sont préoccupés de ces questions.

Je remercie M. MATHIEU de cet exposé, mais la rapidité imposée ne lui a peut-être pas permis de bien mettre en lumière son grand travail.

M. BERGEON. — Le mode de réglage le plus intéressant à employer pour les fours électriques qui possèdent une inductance relativement forte, comme par exemple les fours à acier, est celui qui consiste à maintenir constant le facteur de puissance au lieu de rendre constante l'intensité comme on l'a fait jusqu'à maintenant. La marche des fours est plus régulière et surtout, lorsque ceux-ci sont branchés sur des réseaux de distribution d'énergie, les perturbations qui peuvent se produire à la suite d'une baisse de tension se trouvent bien atténuées. Le diagramme de fonctionnement des fours électriques met bien en évidence ce mode de réglage. Je dois faire paraître prochainement dans la Revue de Métallurgie une étude assez complète sur cette question.

Le régulateur de la Société d'Etudes et de Constructions Métallurgiques (S. E. C. O. M. E. T.), régulateur cité par M. MATHIEU dans son rapport, est un régulateur à facteur de puissance constant, car il a pour effet de maintenir constante la résistance d'un four. Ce régulateur, inventé et mis au point par M. VASTEL, ingénieur de la Société d'Etudes et de Constructions Métallurgiques, est donc particulièrement intéressant. Son application aux fours à acier a d'ailleurs donné d'excellents résultats.

Le réglage des fours électriques est une question très importante, car ceux-ci seront de plus en plus branchés sur le réseau de distribution d'énergie. Il faut alors employer de bons régulateurs capables d'assurer une marche des fours aussi régulière que possible.

M. BUNET. — Je crois que l'intérêt des régulateurs pour les fours serait beaucoup plus grand que cela ne paraît à première vue. En France, on ne les a pas utilisés suffisamment ; beaucoup de fours sont

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, tome VII, n° 73, p. 1007.

Digitized by Google

encore réglés à la main, et le réglage à la main a beaucoup d'inconvénients qui n'apparaissent pas à première vue.

Quand on fait du carbure de calcium, on marche ici à une tension de 40 à 50 V et le four est en réalité plutôt un four à résistance, c'est-à-dire que la plus grande partie du RI^2 développé dans le four se fait par le passage du courant dans le carbure de calcium liquide déjà formé. Pour augmenter la tension du four, il faut écarter les électrodes. Il est évident que le four, dans ces conditions, a une marche beaucoup moins stable.

Si on monte à 90 V comme les Américains, les variations du four sont continuelles et il est impossible à un homme de régler le four à intensité constante ; il y aurait des variations inévitables ; au contraire, le régulateur s'en chargerait; il est évident au reste que les fours qui marchent à 90 V ne sont pas les mêmes fours que ceux de 40 V; ils ont des inconvénients. Mais le fait est là : dans les grandes installations américaines, on marche pour faire du carbure de calcium, à 90 V et en triphasé à 150 V entre deux électrodes verticales.

Ceci a un avantage d'ordre purement électrique considérable ; si on double la tension, on divise par deux l'intensité, au lieu de marcher à 40 000, on marche à 20 000 A. De ce fait, la chute de tension est divisée par 2, la tension active étant multipliée par 2. On voit que le facteur de puissance est augmenté dans des proportions considérables : 0,75 à 0,95 par exemple ; on réduit énormément les courants parasites et le poids des barres; on augmente le rendement.

On peut remonter le facteur de puissance autrement, comme M. Bergeon nous l'a dit, en faisant l'alimentation de façon multiple ; on garde les avantages d'une tension assez faible et cette solution est fort intéressante.

Pour le constructeur électricien, faire un transformateur qui actionnera un four de 40 V et 40 000 A est tout un autre problème que d'en construire un de 80 V et 20 000 A; il y a une grosse différence.

Sans être partisan seulement de la haute tension, il faut reconnaître que la conception américaine ne doit pas être oubliée. Avec leurs appareils automatiques, ils disent que la marche est très régulière et sans inconvénients.

M. Bergeon. — Lorsque les fours ont une inductance très importante, en élevant la tension, on diminue l'intensité, mais l'augmentation de tension présente deux inconvénients : la marche du four est beaucoup plus pénible pour le personnel et elle devient irrégulière.

Digitized by Google

On est arrivé maintenant avec des fours bien étudiés, des fours de l'ordre de 120 000 et 130 000 A, à des facteurs de puissance de 0,95 à la fréquence 50, ce qui est suffisant. Et on ne peut gagner beaucoup en élevant la tension, on a une marche très régulière et un fonctionnement très satisfaisant.

Je crois que la méthode française est préférable à la méthode américaine.

Les régulateurs sont toujours très utiles, ne serait-ce que pour la réduction de personnel.

M. LE PRÉSIDENT. — Vous faites allusion aux fours de Montricher? Il y en a deux, je crois.

M. BERGEON. — Il y en a un de 5 000 et l'autre de 6 000 kW.

M. LE PRÉSIDENT. — Quelle intensité?

M. BERGEON. — 130 000 A, et ils n'ont qu'une seule électrode. Ils sont alimentés par un circuit triphasé et un montage Scott.

Evidemment, l'intensité est très élevée, mais le circuit étant très court, la dépense n'est pas exagérée.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie encore une fois MM. BUNET et MATHIEU, ainsi que M. BERGEON, de leur communication d'un intérêt particulier dans lesquelles ils nous ont donné des renseignements extrêmement précis et précieux.

M. DANNATT, *Ingénieur à la Cambridge Instrument C° Ltd, nous a envoyé, à propos du rapport de* M. MATHIEU, *la note suivante :*

Système de réglage des fours électriques à résistance et à arc.

Dans son très intéressant rapport, M. MATHIEU signale (page 1013 du *Bulletin*), un relais galvanométrique sans contact au sujet duquel il serait peut-être utile de donner quelques détails complémentaires.

Cet appareil, qui a été mis au point par la Société Cambridge, comporte un galvanomètre à cadre mobile du type employé couramment pour la pyrométrie industrielle. L'aiguille du galvanomètre (fig. 3) porte à son extrémité un petit thermo-couple différentiel dont les deux soudures sont susceptibles d'être chauffées par rayonnement lorsqu'elles se trouvent dans l'axe d'un minuscule radiateur électrique

Digitized by Google

lequel, solidaire d'un index « avertisseur », peut être déplacé au-dessus du cadran à l'aide d'un bouton extérieur. Ce petit radiateur, constitué

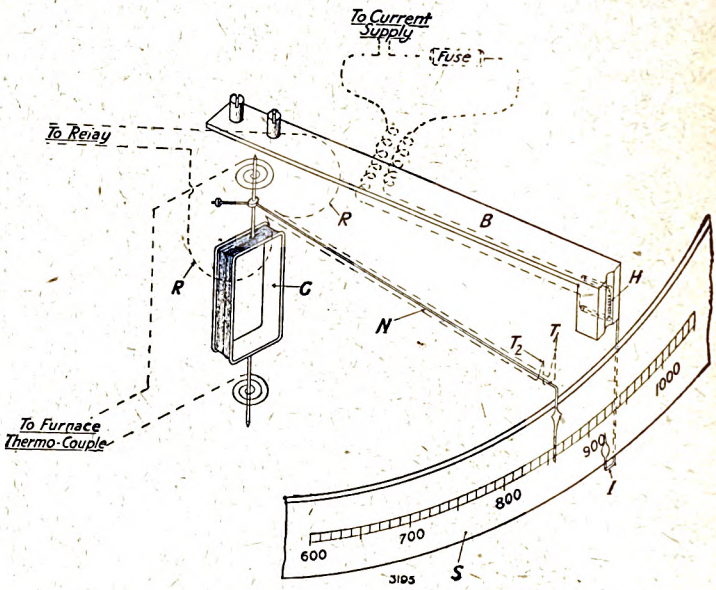


Fig. 3. — Pyromètre régulateur, système « Cambridge ».
G, cadre mobile du galvanomètre ; N, aiguille du galvanomètre portant le thermocouple à 2 soudures; T_1, T_2; S cadran gradué; B, bras mobile portant le radiateur H ; I, index « avertisseur ».

par une hélice de platine de très petites dimensions, est alimenté par

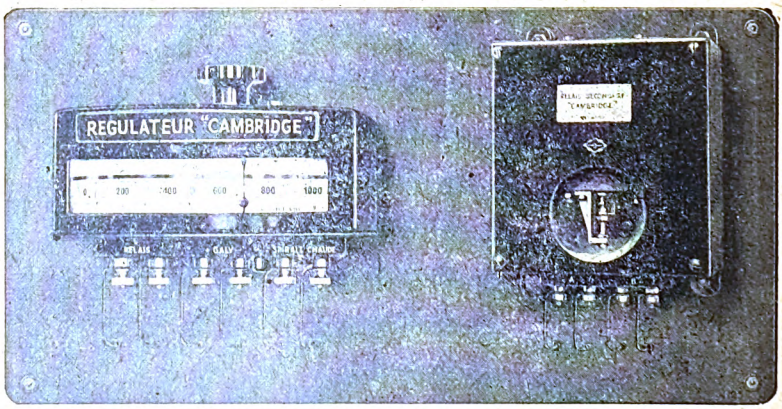


Fig. 4. — Pyromètre régulateur, système « Cambridge » et relais secondaire.

le réseau d'éclairage en y intercalant une résistance potentiométrique (courant continu) ou un transformateur genre « Ferrix » (courant

Digitized by Google

alternatif). Le thermo-couple différentiel est relié, par des fils passant dans le tube de l'aiguille, au cadre mobile d'un relais polarisé et celui-ci agit sur le contacteur du four par l'intermédiaire d'un deuxième relais plus puissant.

L'élément mesureur de la température est constitué, soit par un thermo-couple (pour les températures moyennes inférieures à 1 300°C environ), soit par un télescope Féry (pour les températures plus élevées).

Dans la plupart des cas et en raison de la capacité calorifique géné-

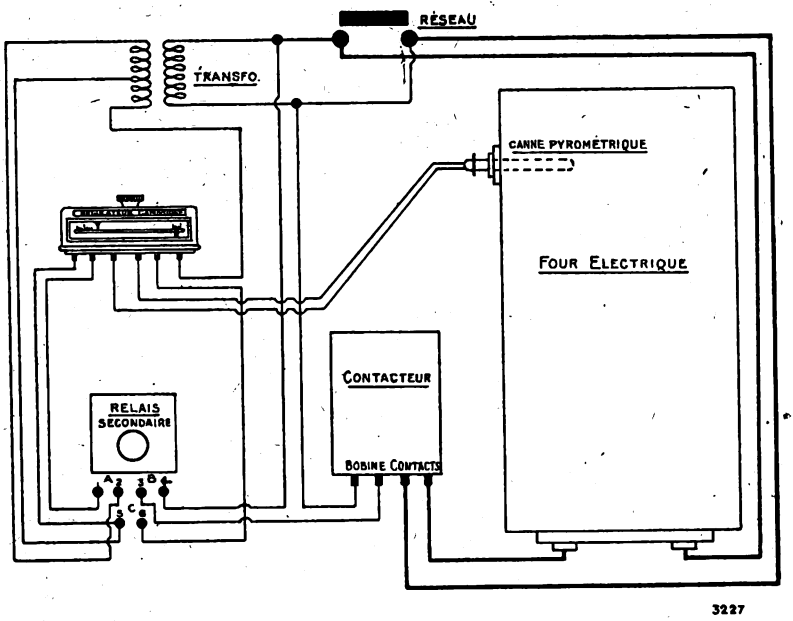


Fig. 5. — Schéma des connexions du pyromètre régulateur « Cambridge » agencé pour le réglage d'un four électrique par « tout ou rien ».

ralement grande du four, il y a avantage à régler par « tout ou rien » et l'échauffement de la soudure « avant » de l'aiguille a pour résultat d'écarter simplement les contacts du relais polarisé. Mais, lorsque l'appareil est agencé pour le réglage « progressif » de la température, l'on tire partie du sens de déviation du relais polarisé, celui-ci étant alors muni de deux contacts fixes. Dans ce cas, lorsque la position de l'aiguille correspond à la température voulue, les deux soudures se trouvent de part et d'autre du « radiateur » et la moindre variation de la température du four provoquant un déplacement de l'aiguille, amène l'une ou l'autre des soudures en face du « radiateur ».

Digitized by Google

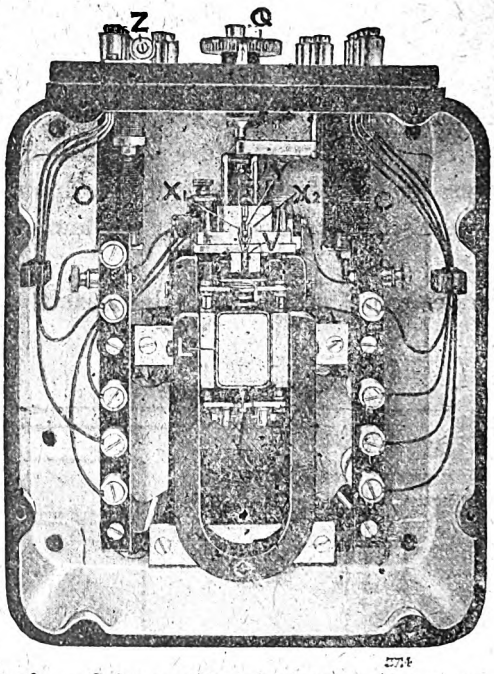


Fig. 6. — Galvanomètre régulateur « Cambridge » (modèle pour réglage « progressif ») avec relais polarisé.

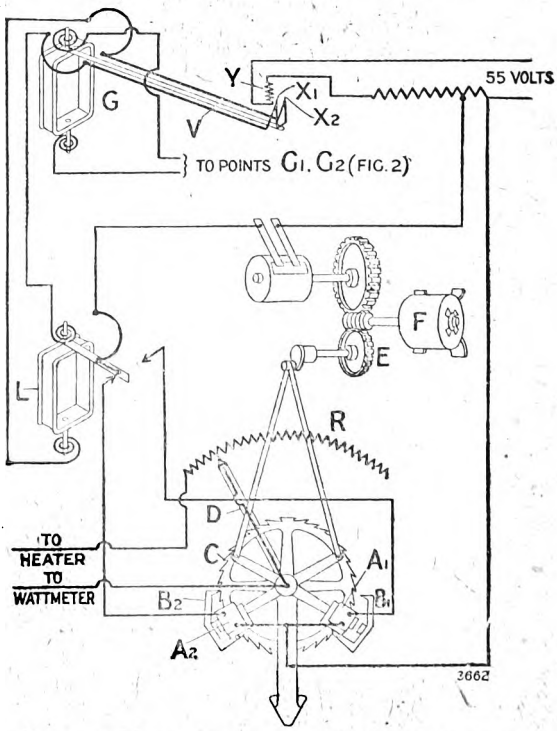


Fig 7. — Schéma des connexions du régulateur « Cambridge » avec relais polarisé et servo-mécanisme.

Digitized by Google

Pour certains réglages très précis, un galvanomètre de forme modi-

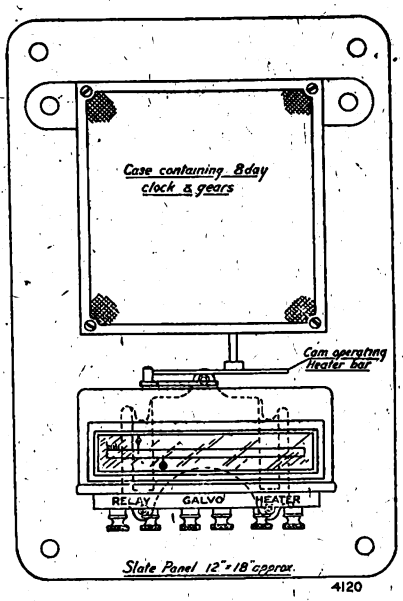


Fig. 8. — Régulateur de température en fonction du temps.

fiée et d'échelle graduée (fig. 6) sert d'appareil à zéro soit dans un cir-

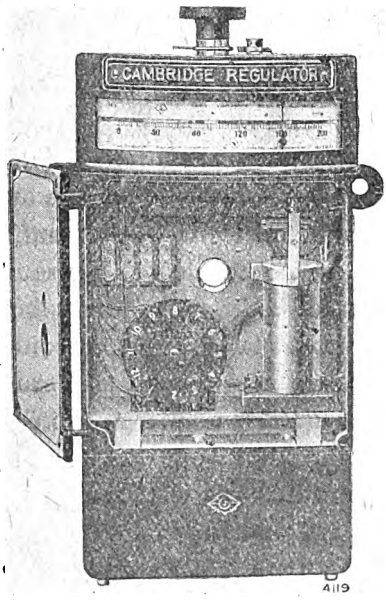


Fig 9. — Pyromètre régulateur, système « Cambridge » combiné avec commutateur automatique pour le réglage simultané de dix fours.

cuit potentiométrique (utilisant un thermo-couple comme élément me-

Digitized by Google

sureur de la température), soit dans un pont de Wheatstone (avec canne à résistance de platine).

La figure 7 montre le servo-mécanisme employé pour régler la résistance (R) en série avec le conducteur chauffant le four. Ce mécanisme comporte : un bras oscillant actionné par un moteur électrique (F) et portant deux cliquets (B^1, B^2) ceux-ci étant enclanchés sur une roue à doubles rochets (C) par l'un ou l'autre de deux électro-aimants (A^1, A^2) suivant le sens de déviation du relais polarisé (L).

Le galvanomètre à déviation (type à échelle graduée) s'emploie également lorsqu'il s'agit de faire varier la température en fonction du temps. Dans ce cas (fig. 8) le bras portant le « radiateur » est déplacé automatiquement par une came actionnée par un mouvement d'horlogerie. Ce même type d'appareil, associé à un commutateur automatique (fig. 9) permet de régler simultanément plusieurs fours.

M. LANGUEPIN présente son rapport sur *la soudure électrique* (1).

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. LANGUEPIN de sa très originale communication et je prie ceux qui veulent prendre la parole pour demander des éclaircissements ou pour compléter l'exposé de M. LANGUEPIN de bien vouloir le faire.

M. BRILLIÉ. — Il a été question dans la communication de M. LANGUEPIN de la définition d'une expression employée couramment par les soudeurs, le « collage ». Il semble intéressant de donner plus de précisions à ce sujet. Les soudeurs à l'autogène appellent collage une soudure qui, ayant une résistance à la traction suffisante, présente une grande fragilité et casse au moindre choc. Les soudeurs débutants ont souvent tendance à faire des collages, et on attribue cela au fait qu'ils ne chauffent pas suffisamment la pièce et font couler le métal d'apport sur une pièce à trop basse température. A l'examen de la soudure collée, il semble souvent qu'il y a interposition d'oxyde, et qu'on a une sorte de brasure à l'oxyde très résistante mais fragile.

J'ai eu l'occasion d'examiner des soudures que j'avais fait exécuter intentionnellement avec un chauffage insuffisant des tôles : à la traction elles donnaient 35 kg : mm², mais au choc elles ont montré une fragilité très grande.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VII, 4e série, n° 73, septembre 1927, p. 1031.

Digitized by Google

M. LANGUEPIN. — Les soudeurs appellent souvent collage toutes les soudures mal faites. Pour ma part, j'ai toujours considéré que lorsqu'une soudure présentait une résistance suffisante à la traction et une grande fragilité, il n'y avait pas défaut de soudure, mais modification du métal (carburation ou trempe) qui diminuait son coefficient d'élasticité. Je n'ai pas examiné le cas dont parle M. BRILLIÉ, où il y a présence d'une couche d'oxyde dans la soudure; l'explication d'une « brasure à l'oxyde » paraît fort curieuse et il serait intéressant d'étudier le rôle de l'oxyde dans ces soudures. Admettant *à priori*, peut-être à tort, qu'une diminution du coefficient d'élasticité provenait de la dénaturation du métal et non d'un défaut de soudure, j'ai, pour mon usage, appliqué le nom de collage uniquement aux soudures qui donnent une résistance insuffisante à la traction. Parmi celles-ci, il en est qui montrent nettement des inclusions d'oxyde qui entraînent une réduction de section, mais d'autres ne laissent apparaître aucun défaut important à la micrographie, et ont néanmoins une résistance assez faible. J'ai pensé que cela prouverait la présence de points non soudés de dimensions suffisamment petites pour être invisibles au microscope.

M. LE PRÉSIDENT. — Il semble que vous parlez de deux choses complètement différentes. M. BRILLIÉ parle d'un phénomène bien défini, les soudures sont fragiles. Pour M. LANGUEPIN, il n'y a pas de phénomène bien tranché, depuis les soudures parfaites jusqu'aux mauvaises; à partir d'une certaine réduction de la résistance, il admet qu'il y a collage.

M. BRILLIÉ. — Nous avons aussi des soudures qui ont une résistance moindre et qui coupées et examinées au microscope ne donnent aucune apparence permettant de reconnaître la différence d'avec une bonne soudure.

M LANGUEPIN. — Nous nous trouvons donc en présence de deux cas de soudures collées; l'un se ramène à une question d'étendue des surfaces réellement soudées; dans l'autre, celui de M. BRILLIÉ, il y aurait inclusion d'oxyde.

M. BRILLIÉ. — Tous ceux qui font de la micrographie disent que dans le second cas on voit l'oxyde et ils l'ont observé, tandis que dans le premier cas, vous ne trouvez pas d'oxyde au microscope.

M. LANGUEPIN. — Souvent, on ne trouve quoi que ce soit par au-

Digitized by Google

cun moyen; il y a là pour moi un phénomène de faible dimension. Je considère que toutes les soudures sont, ce qu'on peut appeler, collées, c'est-à-dire qu'il est rare qu'une soudure soit faite sur toute la surface intégralement, et d'ailleurs je ne sais s'il y a des métaux qui favorisent l'irrégularité dans les soudures par l'oxyde qu'ils laissent.

M. LE PRÉSIDENT. — M. Brillié a indiqué une propriété bien définie, la fragilité.

M. LANGUEPIN. — Il y a une question de surface. Si on ne chauffe pas à point le métal, on laisse des oxydes qui diminuent l'étendue de la soudure. Pratiquement cela correspond à employer les coefficients de section les plus élevés et on a des résultats constants. D'ailleurs, les coefficients de sécurité qu'on prend sur les métaux, correspondent à des coefficients de réduction aux sections.

M. LE PRÉSIDENT. — Quelqu'un de ces Messieurs a-t-il une question à poser ou une observation à présenter ?

UN MEMBRE. — Je crois que dans la soudure il peut y avoir deux phénomènes différents. Dans la soudure électrique, il y a un phénomène de forgeage qui se produit et permet cette pénétration (peut-être plus intime que nous ne le supposons et qui, dans la soudure autogène, est beaucoup plus difficile à réaliser puisqu'il y a d'abord une première condition à remplir : amener le métal à température de fusion); il est probable que le collage dont vous parlez se produit surtout quand on n'a pas suffisamment élevé la température du métal.

M. BRILLIÉ. — C'est cela même. Tandis que dans la soudure électrique, c'est l'accident le moins à craindre puisque les deux surfaces sont amenées à la température voulue avant que l'opération de soudure se produise. Cela pourrait expliquer les résultats différents qu'on obtient d'un côté et de l'autre.

M. LANGUEPIN. — Lorsqu'on soude deux pièces de sections différentes, on commence par souder un petit morceau de fer sur un gros, par conséquent, le petit morceau sera chaud tandis que le gros sera froid; on obtient ainsi des soudures collées; eh bien, ces soudures ont presque toujours des points qui donnent un attachement parfait et qui, examinés au microscope, sont très bien soudés

Digitized by Google

à cet endroit. Quand vous arrachez des soudures comme celles-là, il y a des points vraiment soudés, les autres ne tiennent pas. Il y a une limite absolue de température; au-dessous d'une certaine température il n'y a pas soudure; sauf le cas de matière interposée signalé par M. BRILLIÉ, je crois qu'il n'y a pas d'intermédiaire.

Ceci est tout à fait une hypothèse car c'est difficile à préciser.

M. LE PRÉSIDENT. — Et au point de vue de la question qu'a soulevée M. LANGUEPIN, sur la définition des machines à souder, est-ce qu'une discussion ne pourrait pas s'établir ? Ces machines ne sont pas définies, n'y aurait-il pas intérêt à essayer de choisir une définition rationnelle. C'est une question que je pose. Ne pourrait-on tendre à la standardisation de ce genre de travail? Je ne sais si la question est mûre.

M. LANGUEPIN. — Il serait intéressant de la pousser.

M. LE PRÉSIDENT. — Elle doit donc rester ouverte. Personne ne demande la parole ? Alors, je clos la discussion sur ce sujet et je félicite encore M. LANGUEPIN.

Il a bien mis en évidence les paramètres qui jouent un rôle dans le problème traité et il a apporté à la mise au point de celui-ci une contribution personnelle extrêmement intéressante. J'espère qu'il trouvera des contradicteurs et des critiques ce qui un jour ou l'autre le forcera à développer davantage encore l'étude de cette question.

M. BRILLIÉ présente sa communication sur « *l'arc électrique de soudure* » (1).

M. KERALY. — J'ai remarqué certains phénomènes et je serais reconnaissant à M. BRILLIÉ s'il me donnait quelques explications à leur sujet.

En soudure électrique, on arrive à faire des soudures qui présentent toutes les garanties qu'on peut attendre, mais il y a des cas de réparations très particuliers; tels sont ceux des cylindres des moteurs à gaz. Tout le monde sait comment sont faits les gros moteurs à gaz de fourneaux; à l'intérieur du cylindre, il y a la chemise et entre la chemise et le cylindre lui-même, il y a la pression d'eau 2 à 2,5 kg : cm^2; on tend actuellement à mettre 3,5 kg : cm^2, cela va mieux avec une très forte pression.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VII, 4^e série, septembre 1927, p. 1065.

Digitized by Google

En cas de réparation, on rapporte des goujons, puis la soudure en couches successives. Tous les fabricants de soudure — et il y en a beaucoup qui travaillent chez nous — recommandent de ne pas tourner tout de suite la chemise, sans cela il y a de l'arrachement. On use d'abord à la meule, et puis ensuite on tourne.

Comment faire l'essai ? Nous, nous le faisons en disant aux soudeurs : nous essaierons 4 kg : cm², par exemple. Si la pression marche à 2 kg : cm², on essaie à 4 kg : à 2 et 3 kg : cm² cela va, mais à 4 et 5 kg : cm², on s'aperçoit que c'est poreux; il y a une fuite directe; vous n'avez pas un jet d'eau, même fin; vous voyez la soudure qui commence à suinter absolument comme si votre main transpirait; quand vous passez votre main dessus, vous sentez de l'eau; dans ces cas-là, on ne peut avoir confiance absolue.

M. BRILLIÉ. — Ces soudures sont très délicates; c'est un pis aller. On a essayé d'autres procédés. Les Américains emploient le métal Monel directement. Je crois que cela n'a pas été très satisfaisant.

Vous avez quelquefois des soudures qui ne suintent pas, cela dépend de la qualité des fontes, de l'habileté de l'opérateur.

M. KERALY. — Il en suinte au moins 3 sur 4 et je vous garantis que c'est bien fait; je vois les gens travailler et ils travaillent bien.

M. BRILLIÉ. — C'est possible.

M. KERALY. — C'est assez intéressant, car remplacer une chemise de moteur à gaz, c'est cher et si on pouvait arriver à faire des soudures tout à fait parfaites, ce serait économique.

M. BRILLIÉ. — J'ai une grande confiance, mais ce n'est pas encore au point; on fait des essais, vous n'auriez plus ce travail fort long de préparation. Le goujonnage coûte plus cher que la soudure.

Nous avons fait également des essais qui consistaient à remplir le chanfrein avec du nickel et ensuite avec de l'acier.

M. LE PRÉSIDENT. — Ce métal c'est du cupro-nickel, n'est-ce pas ?...

M. BRILLIÉ. — Oui.

M. LE PRÉSIDENT — Est-ce qu'il s'allie très facilement avec l'acier ?...

M. BRILLIÉ. — Avec la fonte il s'allie facilement, et justement le nickel a une influence sur la fonte, qui reste usinable à la tempéra-

Digitized by Google

ture à laquelle elle est portée par l'arc électrique; c'est ce que prétendent les Américains. Personnellement, dans les éprouvettes que j'ai faites, j'en ai trouvé d'usinables et de non usinables. Je crois qu'il y a fonte et fonte, c'est surtout cela. Il y a des fontes qui se soudent très bien, et d'autres, non.

A notre usine, avant de mettre sur le marché des électrodes en nickel, nous les employions depuis 4 ou 5 mois déjà et nous n'avons pas eu encore un échec; nous avons peut-être utilisé des milliers d'électrodes de nickel; nous attendrons quelque temps, et nous espérons bien pouvoir supprimer l'opération du goujonnage qui est fort coûteuse.

M. LANGUEPIN. — Je voudrais demander si on a fait des études sur le rôle de l'enrobage des électrodes. Kjellberg avait breveté une électrode avec un enrobage non fusible, se détachant en morceaux. Stronhenger a breveté un enrobage fusible et utilisait l'électrode en la couchant sur la pièce à souder. Il obtenait une sorte de marche automatique fort curieuse dans laquelle il pensait n'avoir pas un véritable arc d'où le nom de quasi arc. J'ai à mon tour proposé un enrobage volatil. Je pensais que le rôle électrique de l'enrobage était de fournir des vapeurs ionisées, facilitant l'entretien de l'arc.

Ayant un peu abandonné les études sur ce sujet, je serais heureux de savoir s'il a été fait quelque chose sur le rôle électrique de l'enrobage, indépendamment de son action métallurgique.

M. BRILLIÉ. — Le rôle de l'enrobage est triple, métallurgique, mécanique et électrique.

Au point de vue métallurgique, l'enrobage permet d'élaborer tous les aciers, l'arc électrique de soudure étant assimilable à l'arc d'un four de métallurgie, le bain de fusion au métal en fusion du four et l'enrobage aux produits d'addition.

Au point de vue mécanique, l'épaisseur de l'enrobage, la forme du cratère qui dépend de la température de fusion, permettent d'obtenir des soudures d'un bel aspect par guidage mécanique du métal en fusion.

Au point de vue électrique qui est le moins important, en courant continu, l'enrobage augmente le coefficient de stabilité de l'arc. Par un phénomène mal connu, il permet l'allumage en alternatif, lorsqu'il contient certains sels.

D'autres sels, au contraire, tels que les sels de fluor ont une action anti-arc très nette.

Digitized by Google

M. LANGUEPIN. — Avez-vous pu expliquer ce rôle de l'enrobage dans l'arc ?

M. BRILLIÉ. — C'est très difficile à expliquer. Il y a des corps dont le rôle est certain, le potassium par exemple, chaque fois que vous avez un allumage en courant alternatif; le sodium joue aussi un rôle, mais il semble que le potassium soit encore ce qui permette le mieux l'allumage de l'arc alternatif.

M. LANGUEPIN. — Il y a des choses incompréhensibles...

M. BRILLIÉ. — J'ai actuellement un jeune ingénieur qui va faire une thèse au sujet de l'arc au Conservatoire des Arts et Métiers; on me l'a envoyé et je l'ai aiguillé sur une étude systématique. Il a étudié les différents sels et a mesuré les capacités d'allumage pour ainsi dire. Là, vous auriez tous les renseignements que vous désireriez.

M. KERALY. — Vous dites que c'est difficile de souder sans enrobage ?...

M. BRILLIÉ. — C'est impossible en courant alternatif.

M. KERALY. — Pour certains travaux, on soude uniquement en courant continu. Certains emploient alors des électrodes de Kjellberg ou autres; l'avantage est-il certain ?...

M BRILLIÉ. — Absolument certain.

M. KERALY. — C'est que je ne tiens pas à me servir d'électrodes enrobés si ça ne sert à rien.

M. BRILLIÉ. — Faites votre soudure sans cette précaution, chauffez-la au rouge, essayez de la marteler, au premier coup de marteau, elle se fendillera. Avec l'électrode spéciale anglaise qui contient des ferros dans l'enrobage, vous arrivez à la réduire à l'épaisseur d'une feuille de papier à cigarette. Pour les travaux délicats, il est nécessaire d'avoir un enrobage pour l'amélioration de la qualité du métal.

M. LE PRÉSIDENT. — M. BRILLIÉ, je voulais vous demander un éclaircissement sur votre procédé de contrôle des soudures. L'apparition d'un bourrelet de limaille à un certain endroit, semble dénoter l'existence de points conséquents.

M. BRILLIÉ. — Nous expliquons cela par un manque de pénétration.

M. LE PRÉSIDENT. — Comment se présente ce bourrelet ?

Digitized by Google

M. BETHENOD. — Si c'est bien soudé, il y a court-circuit magnétique entre les deux pôles, et alors on ne voit pas de trace de limaille. Là où c'est imparfaitement soudé, il y a un petit entrefer, il y a une réluctance plus importante et au-dessus de l'endroit mal soudé, les limailles s'attachent.

M. LE PRÉSIDENT. — C'était l'aspect de ce bourrelet que je voulais vous demander; est-il hérissé ?

M. BRILLIÉ. — Ce sont des particules de limaille qui sont côte à côte

M. BETHENOD. — S'il n'y a pas de coupure magnétique, les limailles ne s'attachent pas tandis que dès qu'il y a une différence de potentiel magnétique, des fuites magnétiques se produisent que la limaille met en évidence.

M. LE PRÉSIDENT. — Cela veut dire qu'il n'y a pas contact des pièces de fer.

M. BETHENOD. — La différence est extrêmement nette.

M. LE PRÉSIDENT. — Est-ce que toutes les mauvaises soudures sont ainsi décelées ?

Etes-vous bien sûr qu'il n'y aura pas de mauvaises soudures parmi celles qui ne présentent pas de bourrelet ?

M. BETHENOD. — Quand il n'y a pas de bourrelet, c'est que la soudure est bonne. Je trouve d'ailleurs l'explication qui précède très simple et très satisfaisante.

M. BRILLIÉ. — Le procédé est particulièrement intéressant dans le cas d'un réservoir pour fluide sous pression.

S'il s'agit par exemple de souder une virole il arrive que le soudeur ne soude pas jusqu'au fond et qu'il ne soude que le haut; alors, vous avez une partie non soudée et qui peut donner lieu à une amorce de cassure. A coup sûr, par ce procédé-là, on la décèle immédiatement; c'est un des défauts les plus importants et qui nous intéressent le plus.

M. LE PRÉSIDENT. — L'explication de M. BETHENOD est excellente. Est-ce que quelqu'un, Messieurs, demande à poser d'autres questions ?. .

UN MEMBRE. — Je voudrais dire un petit mot au point de vue commercial et industriel.

Digitized by Google

Vous avez parlé tout à l'heure du courant continu et de l'alternatif, eh bien : je crois que maintenant, au point de vue de l'utilisation, le courant alternatif a fait ses preuves et qu'avec les électrodes enrobées, il n'y a pas de raison d'employer le courant continu, car dans toutes les usines, on a le courant alternatif; or un groupe statique coûte la moitié d'un groupe pour courant continu.

Nous nous sommes rendu compte qu'avec un groupe convertisseur qui pourrait avoir un rendement de 63 à 65 pour cent et un groupe statique de 92 pour cent pour le même travail, l'économie de courant pouvait se chiffrer entre 27 et 29 pour cent, chiffre très intéressant. Nous rencontrons toutefois les mêmes inconvénients dont on a déjà parlé en ce qui concerne les transformateurs triphasés, monophasés, en soudure électrique.

En ce qui concerne les applications, il y a encore un point sur lequel je voudrais attirer votre attention. Je crois qu'en France, vous n'utilisez pas la soudure électrique autant qu'on l'emploie en Amérique, en Belgique et en Suisse par exemple.

Dans ces pays, on fait des soudures électriques d'une façon importante. Par exemple, les Belges ont construit un pylone de T. S. F. de 85 m complètement soudé, les tronçons ont été montés sur place par boulonnage. On a également construit des choses très intéressantes en France même par exemple, des pylones importants; l'un dernièrement mesurait 25 m. de haut avec un effort de 4 000 kg. Ce pylone est entièrement soudé. Ces constructions métalliques ont un intérêt énorme au point de vue de la rigidité. Une construction rivée n'est pas rigide, une soudure reste rigide pendant tout le temps de son existence. D'autre part, très souvent les pylones périssent par la base ou ont des défauts au rivetage car les surfaces ne sont pas bien collées mais appliquées l'une sur l'autre, l'eau passe dedans et la rouille s'y met, même s'il y a galvanisation ou émaillage. En soudure électrique, vous avez des surfaces bien protégées et pas d'infiltration d'eau à craindre, c'est un point important pour les constructions placées à l'extérieur.

En Belgique, j'ai vu un petit pont roulant de 3 tonnes entièrement construit en soudés, 20 m de portée, une rigidité extraordinaire, marchant à 100 m à la minute et ne manifestant pas la moindre déformation.

Dans cet atelier que j'ai visité, dans lequel on fait de la charpente métallique, il y a une chose qui m'a étonné, il n'y avait pas de forge;

Digitized by Google

or chacun sait qu'en construction métallique, dès que vous faites intervenir les pièces forgées, vous augmentez votre prix de revient dans des proportions formidables.

Ce petit atelier avait aussi l'avantage d'être silencieux et quand on entrait, c'était un plaisir d'avoir les oreilles au repos.

M. LE PRÉSIDENT. — Je vous remercie, Monsieur, de votre intéressante intervention.

M. LEBAUPIN. — Est-ce que les Compagnies de Chemin de Fer emploient les connexions électriques soudées ?

M. BRILLIÉ. — Oui, c'est très employé en Amérique.

UN MEMBRE. — Mais qu'en pense-t-on ?... car on nous avait dit qu'il y avait beaucoup d'inconvénients et les Français n'osent pas se lancer dans cette soudure.

Je suis allé en Suisse, il y a quelques années, on avait essayé les joints soudés mais on n'osait étendre la chose. Je serais curieux de savoir ce que les Américains pensent de cette soudure; je sais qu'il y a eu des accidents.

M. BRILLIÉ. — Oui par l'effet d'un procédé défectueux. Mais nous avons indiqué un mode de travail avec lequel les rails ne cassent plus au passage des trains.

UN MEMBRE. — Ne pourrait-on pas souder autre chose que l'acier sur le rail ?...

M. BRILLIÉ. — On peut mettre du cuivre.

UN MEMBRE. — C'est ce que je voulais vous faire dire.

M. LANGUEPIN. — Il faut souder le rail. Il y a eu, il n'y a pas très longtemps, une commission de recherches qui a fait des essais sur la soudure complète du rail.

UN MEMBRE. — Je ne crois pas qu'en France, on le fasse de si tôt.

M. LANGUEPIN. — Pour la soudure des connexions, il y a un procédé très employé en Amérique, qui est un procédé de brasure. Nous avons fait des brasures de connexions électriques pendant un certain temps.

UN MEMBRE. — Il faudrait savoir ce que cela donne.

M. LANGUEPIN. — Cela a été très employé.

M. BRILLIÉ. — J'ai vu quelque chose d'intéressant, en Amérique.

Digitized by Google

Ces connexions électriques sont ordinairement faites avec deux cosses en acier qui servent à souder, acier contre acier, les connexions fournies par les chemins de fer.

Aux Etats-Unis, des gens ont eu l'idée ingénieuse de prendre un simple fil torsadé qu'ils coupent à longueur qu'ils introduisent dans un moule en carbone et dont ils fondent l'extrémité en même temps qu'ils mettent la soudure sur le rail.

Un Membre. — Je l'ai fait moi-même. Je ne peux pas savoir les résultats exacts, car les rails sur lesquels je les ai faits ont été enlevés, mais je crois qu'on arriverait à faire des connexions en cuivre directement sur les rails; cela a l'avantage de se faire avec une rapidité inouïe; par conséquent, le rail n'a pas le temps d'être chauffé et on peut mettre le doigt à côté de cette soudure sans se brûler. Il y a dissipation de chaleur. Comme le rail a une section très grande, il arrive qu'il n'est presque pas touché et je crois qu'on pourrait arriver à quelque chose d'intéressant dans cet ordre d'idées.

M. Brillié. — Je suis sûr qu'on peut arriver à quelque chose d'intéressant car, dans les brasures, on ne dirige pas l'arc directement sur le rail. Il faut prendre un moule de graphite; il y a un petit montage qui tient les moules; c'est très simple. J'ai vu faire une soudure devant moi, et ensuite on a essayé de l'arracher, et cela tenait admirablement bien. Je l'ai rapportée ici, en France. C'est un métal parfaitement sain, une sorte de champignon en cuivre roulé avec la torsade qui était adhérent, et on a eu beaucoup de mal à l'enlever au burin.

Un Membre. — Pour faire une bonne soudure, il ne faut pas seulement prendre un fil, il faut mettre une cale; si vous mettez un fil il arrive que vous brûlez son extrémité et vous n'avez plus que quelques éléments de la torsade qui soient fixés au rail.

M. Delamarre — L' « American Society » qui s'occupe des soudures autogènes et électriques, a publié une série d'essais. Cette Société réalise avec une Compagnie de Chemin de fer américaine, depuis plusieurs années, des procédés de jonction pour lesquels on emploie justement la soudure à l'arc.

M. Languepin trouvera des renseignements dans une publication presque introuvable en France, c'est le Journal de l'American Review.

M. Lebaupin. — Dans la connexion électrique, ce qui compte, c'est

Digitized by Google

le contact; or, le contact est toujours mauvais avec les dispositions actuelles; on a toujours des joints compris entre 3 m quand ils sont bons, on arrive parfois à 2 m, 1 m 75... mais la plupart du temps, on arrive à 15 m.

M. LE PRÉSIDENT. — Donnez je vous prie une explication pour les non spécialistes.

M. LEBAUPIN. — C'est la résistance du joint que l'on compte en mètres de rail, cela permet en même temps d'avoir des appareils commodes pour trouver la valeur du joint.

M. LANGUEPIN. — Je me permets de vous signaler que j'ai employé un procédé de soudure peu connu en France, le procédé « Cyc Au » qui consiste à mettre un goujon sur une plaque, le goujon et la plaque étant en contact. Un appareil automatique écarte le goujon de la plaque, laisse la machine en fonctionnement pendant un temps très court, 10 secondes, pousse brusquement le goujon contre la plaque, et en même temps coupe le courant. J'avais vu faire des essais de soudure directement sur des plaques d'acier, du genre des rails, en me disant qu'on pourrait souder également le cuivre rouge. J'ai même essayé des soudures au laboratoire, elles ont été tout à fait bonnes.

Cela paraît très intéressant, mais il y a une difficulté matérielle; cet appareil était d'un prix très élevé, il n'y a pas eu moyen de poursuivre les essais, ce qui est regrettable car la soudure est extrêmement rapide. L'appareil est comme une petite chignole électrique, l'ouvrier colle son goujon contre une plaque, il appuie sur le bouton, et c'est instantané, le goujon est resté en place. Seulement le prix de l'appareil est exorbitant : on voulait le louer 30 000 fr. par an.

Le procédé serait intéressant pour fixer toutes les tuyauteries de chauffage central et accessoires. Une Société en Angleterre entreprenait à forfait la pose des goujons.

M. BRILLIÉ. — Mais pour cela, il n'est point besoin de dépenser 30 000 francs par an; vous prenez un arc de soudure ordinaire et vous collez votre électrode. Nous employons cela couramment dans le béton armé pour les armatures de pont qu'on veut enrober; pour avoir une bonne adhérence de l'armature, nous prenons un fil en métal, nous allumons l'arc en courant continu et collons brutalement, exactement comme par le procédé dont vous venez de parler, ça marche très bien

Digitized by Google

et c'est très solide. Ensuite, vous pouvez plier complètement : la soudure ne lâche pas.

M. LE PRÉSIDENT. — M. BRILLIÉ, vous seriez très aimable de nous apporter à la 3e Section, un de ces échantillons de soudure. L'heure est avancée et je pense que la discussion doit être close. C'est une bonne fortune, Messieurs, pour la Section, que d'avoir provoqué une discussion aussi intéressante sur des questions tout à fait à l'ordre du jour, et en voie de progrès extraordinairement rapides. Je ne vous demande pas de prendre des conclusions dans une technique qui se transforme si vite, mais je fais un appel pressant à MM. LANGUEPIN et BRILLIÉ, et à tous ceux qui ont pris la parole ici ce soir, pour qu'ils nous apportent le fruit de leurs expériences.

M. BRILLIÉ. — Nous attendons un appareil d'Amérique très intéressant.

M. LE PRÉSIDENT. — Je compte sur vous pour nous le présenter à la 3e Section.

Digitized by Google

Séance du Jeudi 27 Octobre 1927.

4e SECTION.

CANALISATION. - DISTRIBUTION GÉNÉRALE. — TRACTION.

SOMMAIRE.

1°. — Discussion du rapport de M. Mathivet sur la comparaison entre le courant continu et le courant alternatif. — M. Demany: observations sur l'emploi des moteurs à collecteur triphasés et des moteurs synchrones, p 369 M. Genissieu: inconvénients du courant continu pour le transport de l'énergie, p. 370. — M. Rieunier: avantages du courant alternatif, p. 371. — M. Bunet: insuffisance des dynamos actuelles pour assurer le transport en continu à haute tension, p. 374. — M. le Président : observations sur la distribution et le transport en continu, tension employée pour la traction en continu, p. 376. — Note de M. Schwob sur les avantages du système Thury pour les installations hydro-électriques, p 377. — M. le Président: conclusions, p. 377.
2° - Présentation du rapport de M. Lemonnier sur le problème de la sécurité dans les chemins de fer, p 381.
3°. -- Présentation du rapport de M. Laloy sur les considérations générales sur la signalisation automatique des chemins de fer, p 381.
4°. — Rappel de la communication de M. Courel sur les postes d'aiguillage, p. 381.
5°. — Discussion du rapport de M. Guéry sur la récupération jusqu'à l'arrêt des trains et du rapport de M. Della Riccia sur le système de traction A.D R à courant continu, à démarrage sans résistances et à récupération d'énergie. — M. Demany : rappel du système Star, p. 382. — M. Della Riccia : fonctionnement du groupe de réglage A.D.R. quand la tension varie, p. 386. - M. Demany: production des flashes, p. 387. M. Della Riccia : puissance à donner aux moteurs ; effort de freinage quand la tension manque ; excitation des moteurs ; excitation indépendante sur le subdiviseur pour compenser ses variations de vitesse, inutilité du compoundage du groupe subdiviseur, p. 388. — M. le Président : conclusions, p. 392.

Présidence de M. Gratzmuller

Ingénieur-Conseil.

M. le Président présente les excuses du Président de la 4e Section, M. Péridier, appelé dans le Midi par une affaire importante.

M. Mathivet présente son rapport sur *la comparaison entre le courant continu et le courant alternatif* (1).

M. Demany. — Je suis de l'avis de M. Mathivet, la standardisation à outrance a relégué le courant continu à une situation inférieure. Tou-

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, Octobre 1927, page 1237.

Digitized by Google

tefois, je dois faire une certaine réserve quant au texte du rapport, dans lequel je lis ceci :

« Mais nous persistons à considérer ces moteurs — les moteurs monophasés à collecteur — comme des moteurs à courant continu dans les inducteurs desquels on a injecté du courant alternatif ».

A cela je dois faire une remarque, c'est que les moteurs à courant alternatif ont une caractéristique que n'ont pas les moteurs à courant continu : c'est la limitation automatique du courant, ils peuvent démarrer sans démarreur, en pratique : certaines installations ont donné moins d'entretien que des installations à courant continu.

Ensuite je lis ceci :

« Dans la grosse métallurgie, les courants alternatifs doivent être définitivement rejetés ».

J'ai fait une étude complète d'un cas tout à fait particulier, celui de l'alimentation d'un laminoir de deux ou trois mille chevaux, l'installation d'un moteur à collecteur triphasé avec variation de vitesse s'est révélée au total plus avantageuse à tous points de vue pour le client que l'installation à courant continu. Evidemment, la différence n'était pas énorme.

Ensuite je lis que M. MATHIVET considère que le moteur synchrone a des avantages considérables. Je dois signaler ici que le moteur synchrone est remplacé de plus en plus par les moteurs compensés avec excitatrice de compensation, qui ont l'avantage de ne pas avoir une vitesse absolument fixe et de ne pas décrocher.

Enfin, en ce qui concerne la réflexion que fait M. MATHIVET que les moteurs alternatifs donnent des consommations considérables, je souligne qu'il existe à l'heure actuelle — ils ne sont pas encore tout à fait courants, mais il y en a plusieurs dont le prix de revient n'est pas nettement supérieur au prix de revient des moteurs synchrones — des moteurs à collecteur qui donneront satisfaction à M. MATHIVET.

M. LE PRÉSIDENT. — M. DEMANY est particulièrement bien placé pour faire cette remarque, puisqu'il est à Jeumont et qu'il a particulièrement travaillé ces moteurs à collecteur. Il y a de nombreuses installations qui ne marchent pas trop mal, du moins celles que j'ai vues.

M. GENISSIEU. — Je voudrais attirer l'attention sur un point particulier de la question traitée par M. MATHIVET, en ce qui concerne le transport proprement dit et non en ce qui concerne les distributions et l'utilisation du courant dans les moteurs.

Pour le transport proprement dit, il y a déjà une réalisation de

Digitized by Google

transport à courant continu dans la région de Lyon, de Moutier à Lyon, c'est une ligne ancienne et d'après ce qui nous a été dit on envisage des installations analogues pour le Transvaal et les chutes du Zambèze. C'est un cas assez particulier, on parle beaucoup maintenant de la question du transport à haute tension, on veut faire un grand réseau de transport. Pour les lignes de transport qu'il y avait jusqu'ici, les questions à résoudre n'étaient pas du tout les mêmes.

Dans un réseau de transport vous aurez une première catégorie de lignes, qui est celle dont nous avons parlé jusqu'ici, c'est ce qu'on pourrait appeler les artères alimentées qui sont parcourues par l'énergie toujours dans le même sens depuis le centre de production jusqu'au centre de consommation. C'est le cas de la ligne de Moutier à Lyon ou de Villiers à Lyon qui sont en alternatif, mais il y a d'autres lignes de transport qu'on commence à réaliser maintenant ou qu'on projette de réaliser. Certaines de ces lignes jouent un rôle de barre omnibus à travers une région. Elles sont embranchées ou reliées à la ligne par des affluents, comme c'est le cas pour Bordeaux et Toulouse. Il y a des systèmes qui réunissent toutes les usines des Pyrénées et qui desservent les centres de consommation.

On est en train de passer au réseau complètement maillé dans lequel on aura une complication plus grande que dans la ligne que j'ai appelée genre « barre omnibus » parce qu'on aura des changements d'itinéraire assez fréquents suivant le temps et les besoins de la charge.

Actuellement dans les installations, on avait une boucle parcourue par le courant dans le même sens. Je ne sais pas si on pourra conserver cette simplicité et les réseaux maillés paraissent présenter un avantage très séduisant de sécurité aussi bien pour le temps de paix que pour le temps de guerre avec les destructions toujours possibles. Et je me demande, si dans l'avenir le courant continu se généralise, si on ne sera pas à même d'avoir simultanément les deux modes de courant, aucun des deux ne pouvant complètement supplanter l'autre et pouvant avoir un champ d'activité distinct.

M. Rieunier. — Tout en me déclarant d'accord avec l'ensemble des conclusions de ce rapport, principalement en ce qui concerne l'utilisation du courant électrique, il ne me paraît pas inutile d'insister sur ce que nous pourrions appeler le point de vue du distributeur, qui est nettement en faveur du courant alternatif.

Si je considère l'ensemble de la région parisienne, qui consomme

Digitized by Google

actuellement plus de 1 000 000 000 kWh, je suis entièrement d'accord avec M. MATHIVET pour les grosses applications. Il y a, en effet, dans la région parisienne :

1° beaucoup moins de traction électrique qu'il ne devrait y en avoir, surtout en chemins de fer;

2° pas d'extraction minière souterraine;

3° pour ainsi dire pas de grosse métallurgie, même en comptant les quelques usines de laminage et tréfilage, acier ou cuivre, installées au nord du département de la Seine ou dans la région d'Argenteuil.

Il reste donc ce que M. MATHIVET appelle les Industries d'importance *secondaire*.

Elles sont nombreuses et absorbent plus de la moitié de l'énergie distribuée.

Pour toutes ces applications, le distributeur préfère la distribution à courant alternatif :

1° Paris étant éloigné de tout centre minier, de tout centre hydraulique, l'énergie électrique y est nécessairement chère.

2° En raison de cette cherté, il y a lieu de rechercher le rendement le plus élevé possible, ce rendement étant exprimé par le rapport des énergies intégrées en 24 heures, et non par le rapport des puissances instantanées à un moment quelconque.

3° Aux charges financières de ce rendement, il y a lieu d'ajouter les dépenses de loyer ou d'amortissement des locaux et les dépenses de main-d'œuvre. Ni les unes, ni les autres ne sont négligeables.

4° Mentionnons sans y insister, tant le sujet est rebattu, les facilités que donne le courant alternatif pour multiplier les points d'alimentation et diminuer d'autant les frais de canalisation.

Ces considérations se sont imposées aux distributeurs avec un tel poids et une telle urgence que la situation de la distribution du courant continu dans la région parisienne est la suivante, en dehors des réseaux de traction.

Dans la grande banlieue, il n'y a jamais eu de courant continu.

Dans la banlieue immédiate, les quelques distributions à courant continu qui avaient pris naissance aux temps héroïques ne se sont jamais développées et ont disparu pour laisser la place au courant polyphasé, notamment : Asnières, au début du siècle actuel; Levallois en juillet 1914; Courbevoie, en 1916; Neuilly-sur-Seine en 1920.

A l'intérieur de Paris, la situation est différente; le courant continu a été conservé non seulement comme un legs du passé, mais surtout comme trop coûteux à supprimer, non seulement en raison de la né-

Digitized by Google

cessité de remanier bon nombre d'installations intérieures, mais aussi et surtout en raison de la dépense qu'entraînerait le remplacement total du réseau souterrain actuel unipolaire armé par un système équivalent de postes de transformateurs et de canalisations propres à la distribution par courant alternatif de la même énergie annuelle.

Aussi tous les efforts se sont-ils portés sur la limitation de la distribution par courant continu et si la puissance ainsi distribuée n'est pas en décroissance, du moins s'efforce-t-on par des substitutions judicieuses, de la maintenir constante.

Il n'en subsiste pas moins que la différence des pertes de transformation entre la distribution par courant continu actuelle et ce que pourrait être la distribution par courant alternatif, représente pour la ville de Paris plus de 20 000 000 kWh par an. C'est la consommation annuelle d'une préfecture de 2e classe.

L'abonné aussi préfère l'utilisation du moteur à courant alternatif : les renseignements parfaitement exacts recueillis au cours de l'unification de la fréquence ont montré que sur plus de 30 000 machines, aujourd'hui remplacées ou adaptées, le nombre des commutatrices ou groupes convertisseurs n'atteint pas 1 pour cent et encore ces machines ne desservent-elles, au moins pour la moitié, que des installations spéciales : imprimeries, galvanoplastie, cinématographes, machines-outils spéciales à variations étendues de la vitesse.

Les raisons de cette préférence de l'abonné sont :

1° Comme pour le distributeur, le souci du rendement et le désir de payer le moins cher possible une énergie déjà grevée de frais nombreux, dont certains ne sont qu'un impôt déguisé et n'ont rien à voir avec la technique.

2° Le désir d'interposer le moins d'organes possibles, et à plus forte raison d'organes rotatifs entre le compteur et les points d'utilisation.

3° La commodité d'entretien et la rusticité des moteurs à courants polyphasés, dont certains fonctionnent et parfois depuis longtemps dans des conditions invraisemblables.

Parmi les qualités du moteur asynchrone figure l'impossibilité de s'emballer, propriété précieuse.

Aussi ma conclusion est-elle que :

1° Pour le transport, la discussion reste ouverte et l'avenir nous montrera peut-être des applications insoupçonnées du courant continu sous des tensions non encore atteintes.

2° Pour la distribution, en dehors de ce que M. Mathivet appelle les

Digitized by Google

trois applications les plus importantes de l'électricité, le courant alternatif est à préférer et de beaucoup pour la distribution urbaine ou suburbaine, même dans des agglomérations très denses absorbant de grandes quantités d'énergie.

C'est un fait et personnellement, dépense mise à part, j'imagine très bien le courant continu disparu de Paris sans arriver à concevoir en contre-partie la moindre gêne pour quiconque.

3° Pour l'utilisation, je conclurai encore en faveur du courant alternatif, plus économique et tout aussi commode pour l'abonné moyen et ses applications *vulgaires*.

C'est en somme cet abonné moyen et ses applications ordinaires qu'il s'agit d'atteindre et de conserver.

C'est lui qui, par sa multiplicité et par sa diversité, a permis de niveler les « creux » et les « pointes » et, assurant plus de la moitié des recettes des distributeurs, a entraîné le magnifique développement actuel de l'Industrie électrique sous toutes ses formes : construction et distribution.

C'est lui qui le continuera dans l'avenir.

M. BUNET. — M. MATHIVET et plusieurs collègues ont parlé des grands transports à courant continu. On cite toujours celui qui aboutit à Lyon et on dit généralement qu'il fonctionne bien. Mais c'est une assez petite entreprise. On parle de 100 000 V et davantage — ils n'y sont pas toujours — accompagnés d'une centaine d'ampères. On arrive à une puissance maximum de 15 000 kW. C'est faible maintenant puisqu'on envisage l'utilisation de génératrices dont chacune dépasse cette puissance, quelquefois de beaucoup.

Les machines utilisées dans ce transport sont d'un premier type qui permet d'aller à 2 000 V ; elles sont donc de l'ordre de 200 kW.

D'autres machines sont timbrées 5 000 V et 150 A et seraient ainsi de 750 kW. Mais on n'a paraît-il pas pu les faire fonctionner à ce régime et, pratiquement, on n'irait pas au-dessus de 3 000 V.

J'ai eu l'occasion de voir plusieurs fois ces machines, et j'ai trouvé que leurs collecteurs sont loin d'être en parfait état.

On se trouve donc en présence de machines de l'ordre de quelques centaines de kilowatts et c'est toute l'expérience que nous pouvons recueillir de ce système. Il y a des projets de développement où l'on parle de machines de 10 000 V, de l'ordre de 200 à 300 A, ce qui ne ferait encore que tout au plus 3 000 kW. Ce seraient encore d'assez pe-

Digitized by Google

tites machines pour une grande transmission; mais on n'en a encore jamais vu.

Je crois juste d'ajouter que le transport de Moutiers à Lyon fonctionne convenablement grâce à l'ingéniosité de ceux qui l'ont établi, à la compétence des exploitants et à la qualité d'un personnel nombreux et très exercé pour la conduite de collecteurs, bien plus difficile à trouver que pour l'entretien de gros alternateurs.

En résumé ce qui me paraît gêner pour la constitution de transports en série, c'est le manque de grosses machines. Pour se tenir dans les limites de l'expérience actuellement possédées, il faut considérer que l'on placerait des centaines de machines en série. Cela changerait si l'on pouvait engendrer le courant continu à haute tension; on y arrivera peut-être au moyen d'arcs au mercure, d'appareils à vide, en appliquant certaines idées de Maurice LEBLANC.

M. MATHIVET. — Je crains que le fond de ma pensée n'ait pas été très bien compris.

Je reconnais que la construction a fait depuis vingt-cinq ans beaucoup de progrès; il y a aux Mines de Nœux des machines tout à fait remarquables. Il se produit sur ce réseau des court-circuits continuels sans qu'on s'en aperçoive.

Quant à l'emploi du courant alternatif, je crois qu'il est à recommander pour une distribution générale, et justement pour l'établissement des grands réseaux, mais chaque fois que nous avons à établir un réseau à courant alternatif nous devons étudier l'ensemble de nos applications de manière à réduire au minimum le facteur de puissance. J'en parle par expérience, car je suis arrivé à réaliser le seul réseau de France qui marche avec un cosinus φ égal à 1. Or, chiffres comptables en main, nous avons démontré que l'économie ainsi réalisée atteint un million de francs par an.

Je dis qu'un ensemble de solutions qui permet d'économiser un million par an, s'il se généralisait pour la France, constituerait un système intéressant; et que nous pouvons conserver le courant alternatif, mais sans oublier son vice initial que nous devons combattre sans cesse.

Je reconnais que la question des dynamos n'est pas assez au point, mais on a fait de très grands progrès, on parle maintenant de machines à 500 kW.

Pour installer une distribution en continu sur un réseau alternatif, un alternateur alimentera tout un faisceau de moteurs synchrones.

Digitized by Google

Chaque moteur commandera deux ou trois génératrices à courant continu, en série sur celles des groupes voisins. Je crois que la complexité de la station centrale sera rachetée et au delà, par l'économie de cuivre réalisée sur la ligne. Mais je ne veux pas dire que je sois un partisan quand même du courant continu.

Evidemment le courant alternatif ne peut être condamné d'une manière absolue, mais il ne faut pas dire qu'il n'y a pas de progrès à faire. Une économie de 700 millions par an, vaut la peine d'une étude.

M. LE PRÉSIDENT. — J'ai eu l'occasion, il y a quatre ou cinq ans de voir un transverter qui devait donner, je crois, 100 000 V. C'est tout à fait l'analogue du convertisseur de M. LEBLANC et c'est celui-là dont M. BUNET s'est occupé.

Il s'agissait d'une puissance très limitée, je ne pense pas qu'il en ait été réalisé d'application utile.

J'avoue que je suis assez sceptique sur ses succès futurs.

En ce qui concerne l'éclairage, je ferai observer à M. MATHIVET que 50 périodes ne donnent pas de troubles de la vision.

M. MATHIVET. — Cela ne veut pas dire que nos yeux ne soient pas fatigués.

M. LE PRÉSIDENT. — L'œil ne peut pas discerner de différence entre l'éclairage à 50 périodes et l'éclairage continu.

Quant à la traction, certaines locomotives qui circulent entre Villefranche et Perpignan donnent beaucoup d'ennuis. J'ajoute en ce qui regarde la solution du continu, qu'il est regrettable qu'on ait adopté 3 000 V au lieu de 500. Les ingénieurs n'avaient pas vu de difficulté à faire des locomotives à 3 000 V ou à 1 500 V. Toutefois, avec le développement des convertisseurs à mercure, qui certainement sont de plus en plus des appareils à haut rendement électrique, la traction à courant continu, dont je n'ai pas été enchanté à l'origine, peut très bien se défendre.

Mais, il y a un avantage, dont a parlé M. GÉNISSIEU, à faire un réseau de distribution à mailles relativement serrées. Tout transport de force ressemble un peu à un véhicule qui n'a pas de station intermédiaire et qui ne peut pas prendre de marchandises ou de voyageurs en route, ou tout au moins qui ne le peut que par des moyens complexes.

Voilà je crois les raisons qui ont fait que la distribution à tension constante s'est peu développée. Mais, dans le cas d'une puissance à

Digitized by Google

transporter à grande distance, on pense toujours au courant continu en série.

Maintenant il est très vrai, et M. THURY nous l'a dit lui-même, que les génératrices de Lyon sont évidemment démodées. Avec des prodiges d'habileté, il est arrivé à obtenir une bonne communication.

Je remercie vivement M. MATHIVET qui a soulevé une discussion, mettant en évidence le grand intérêt de la question. Je crois que tout le monde est d'accord, le continu a son rôle et on ne peut le supprimer, mais l'alternatif s'impose en général.

M. DEMANY. — On fait maintenant des génératrices de 6 000 kW à grande vitesse et à courant continu.

M. BUNET. — A quelle tension ? J'ai installé des machines de 5 200 kW, il y a près de quinze ans, mais à 500 V.

M. DEMANY. — A 1 000 V, ce n'est pas plus difficile.

M. BUNET. — Je vous demande pardon. En ce moment, dans le cas de la traction ici comme en Amérique, on n'a jamais en service des machines qui marchent chacune à 3 000 V. Mettre 3 000 V sur un collecteur, est une opération qui n'est pas tellement facile, cela se fait aisément, en projet, mais en pratique, même les Américains qui sont assez hardis, quand ils produisent 3 000 V, placent plusieurs machines en série; ils le font encore dans le cas de 1 500 V quelquefois.

M. LE PRÉSIDENT. — Maintenant, ils font du 1 500 V direct. Pour moi le 1 500 V n'était justifié que par cette préoccupation-là. A ce point de vue, le P. L. M. conseillé par M. FERRAND, n'a voulu utiliser que 750 V par collecteur. Mais en dehors de cette considération, la question de l'isolation de l'appareillage est tout à fait secondaire et l'isolation du moteur présente une difficulté voisine de celle de l'appareillage.

M. SCHWOB, *nous a priés d'insérer la note ci-après, relative au rapport de M. Mathivet et traitant de l'emploi du courant continu haute tension. Système Thury.*

M. MATHIVET, dans sa « Comparaison entre le courant continu et le courant alternatif » (*Bulletin de la Société Française des Electriciens* d'octobre 1927, t. VII, 4e série, n° 74), a fait ressortir avec une grande netteté les avantages et les inconvénients de chacune de ces deux

Digitized by Google

formes de courant aux divers points de vue de la production, de la distribution et de l'utilisation de l'énergie.

On nous permettra de signaler ici encore un avantage important, bien que méconnu semble-t-il, à l'actif du courant continu, et qui pourrait être de nature à faire pencher en sa faveur la balance que M. MATHIVET, avec un grand souci d'impartialité, tient égale entre les deux formes de courant.

Il s'agit de l'emploi du courant continu dans les usines hydroélectriques où son utilisation généralisée paraît devoir conduire à une très grande simplification des ouvrages et de l'outillage mécanique, en même temps qu'à une amélioration notable du rendement général des installations.

A l'occasion d'une étude *Sur une forme de courant propre à l'utilisation des marées* (R. G. E. du 29 mai 1926, t. XIX, n° 22, p. 859), nous avons montré que la production directe de courant continu avec distribution système Thury était seule assez souple pour s'adapter sans perte de rendement appréciable aux variations d'énergie de la marée; variations d'autant plus considérables que l'on désire serrer de plus près les cycles d'utilisation à rendement maximum. Nous avons montré aussi comment, aux avantages propres à la distribution système Thury, s'ajoutaient ceux d'une grande simplification des équipements hydroélectriques, puisque, en particulier, les régulateurs et leurs commandes, c'est-à-dire les organes les plus délicats et les plus coûteux de toute installation hydraulique, étaient supprimés.

Or, si la distribution système Thury paraît être la solution la plus rationnelle dans l'utilisation de l'énergie des marées, elle s'appliquerait avec non moins de bonheur, semble-t-il, à la plupart des réseaux alimentés par des usines hydroélectriques, surtout lorsque ces dernières utilisent des hauteurs de chute et des débits variables.

En effet, les usines hydroélectriques, telles qu'elles sont conçues dans leur grande majorité, obéissent à la sujétion du maintien d'une vitesse constante sur l'arbre des turbines ; sujétion imposée par la forme même du courant produit, qui est le plus souvent du type alternatif à tension et fréquence constantes. De là, le souci de maintenir la chute elle-même aussi constante que possible (au prix d'ouvrages souvent considérables), puis la nécessité de prévoir des régulateurs capables de faire varier l'admission des turbines en fonction de la charge, régulateurs d'autant plus sensibles et compliqués qu'il s'agit de maintenir une fréquence et une tension rigoureusement constantes surtout si l'on désire faire travailler plusieurs usines

Digitized by Google

en parallèle sur le même réseau. De là, aussi, des pertes de rendement sensibles, tant dans le fonctionnement des turbines à charge réduite, que par l'utilisation incomplète des débits disponibles, particulièrement en temps de crue et même (bien qu'atténuées) pour les usines possédant des bassins d'accumulation.

Qu'on parvienne, au contraire, à se libérer de la sujétion du maintien d'une vitesse constante sur l'arbre des turbines et tout se simplifie. Or, c'est précisément ce que permet l'emploi des génératrices à courant continu reliées en série sur une boucle Thury. Il n'y a aucun inconvénient, en effet, à ce que ces génératrices fonctionnent à vitesse, et par suite à tensions variables. On démontre (voir article précité) qu'en maintenant constante l'admission de la turbine, il faut et il suffit que la tension de la génératrice varie proportionnellement au cube de la vitesse, pour que le rendement hydraulique soit *rigoureusement* et celui du groupe *pratiquement* constants, quelles que soient les variations de la hauteur de chute. Cette condition est aisément réalisée à l'aide d'une double excitation.

On aperçoit de suite les avantages qui résultent de ces dispositions :

Possibilité de laisser varier la chute dans de très larges limites sans nuire aucunement au rendement de l'installation, d'où réduction, dans beaucoup de cas, des ouvrages de régularisation.

Utilisation la plus complète des débits disponibles, les turbines fonctionnant constamment à pleine admission.

Possibilité de fonctionner à n'importe quel régime, du plus bas étiage aux plus fortes crues, ce qui est particulièrement intéressant pour les usines à basse chute.

Enorme simplification des équipements électro-mécaniques et de l'appareillage : plus de régulateurs, plus de roues à aubes directrices, mobiles (l'admission restant constante), plus de tringlages compliqués ni de commandes par servo-moteurs délicats, pas de régulateurs de tension, ni de rhéostats sur les génératrices, etc...

Réduction des frais d'installation.

A cela s'ajoutent tous les avantages inhérents au système même de distribution Thury, que M. Mathivet a si nettement mis en relief et dont nous avions de notre côté donné une énumération sommaire dans l'article déjà cité de la R. G. E., ainsi que dans un autre article sur *l'Application du système de distribution Thury au projet d'Usine Marémotrice de la Frênaye* (Génie Civil du 21 mai 1927, t. XC, n° 21, p. 500).

Remarquons, toutefois, qu'à défaut de régulateurs individuels, une

Digitized by Google

régularisation s'impose néanmoins entre la production et la consommation, les usines hydroélectriques ainsi conçues fonctionnant constamment à plein débit et subissant les variations des hauteurs de chute, tandis que les besoins de la consommation varient selon des lois complètement différentes.

Cette régularisation générale qui maintiendra la constance de l'intensité du courant sur la ligne, peut se réaliser de bien des façons.

Imaginons un chapelet d'usines hydroélectriques comportant chacune plusieurs génératrices à courant continu, toutes reliées en série sur une boucle de distribution Thury. On peut opérer le réglage par simple insertion ou court-circuitage d'une ou plusieurs génératrices selon les besoins de la consommation. On peut aussi disposer sur le circuit Thury un certain nombre de groupes de régularisation proprement dits, capables d'accumuler, par voie électrique, thermique, chimique ou hydraulique, l'énergie excédentaire, pour la restituer au circuit lorsque les besoins de la consommation dépassent les ressources de la production. Ce seront, par exemple, des groupes motopompes réalisant l'accumulation par pompage bien connue des hydrauliciens. Ce seront de simples accumulateurs électriques si les différences entre la production et la consommation ne dépassent pas les limites normales de capacité des batteries. Ce seront au besoin certaines industries électrométallurgiques ou chimiques susceptibles d'un fonctionnement saisonnier.

Ce sera, s'il s'agit d'un réseau étendu, une conjugaison rationnelle de ces divers moyens.

Avec les très hautes tensions que permet, dès aujourd'hui, de réaliser la distribution système Thury, tant en canalisations souterraines qu'aériennes (1), il n'est peut-être pas téméraire d'envisager, dans un proche avenir, l'établissement d'une vaste distribution Thury, ceinturant toute la France, embrochant les usines hydro-électriques des

(1) Il semble qu'à cet égard M. Mathivet se soit montré excessivement prudent en limitant à 100 000 V en souterrain et 300 000 V en aérien la tension maximum permise par des distributions système Thury. Dans le remarquable transport de force de Moutiers à Lyon réalisé par la Société générale de Force et Lumière et que mentionne d'ailleurs M. Mathivet, on a installé et mis en service depuis plus d'un an sur un parcours de 27 km deux câbles souterrains prévus chacun pour une tension de 150 000 volts entre conducteur et terre. En supposant à la terre le milieu d'un circuit Thury, c'est donc 300 000 volts entre conducteurs qu'il serait permis de réaliser dès maintenant en câble souterrain. De même, on peut considérer comme d'ores et déjà acquise, la possibilité de fonctionner en continu aérien à 450 000 V entre conducteurs (soit 225 000 par rapport à la terre).

Digitized by Google

Alpes et des Pyrénées, les usines marémotrices de Bretagne et de Normandie et se bouclant par les usines à basse chute du Rhin. Des groupes convertisseurs convenablement répartis sur cette boucle assureraient la liaison avec les réseaux à courant alternatif existants. Il est fort probable que dans un aussi vaste ensemble, le rôle des stations de régularisation serait très réduit.

Il est à peine besoin d'insister sur les avantages de simplicité, de rendement, d'économie et de sûreté de fonctionnement que présenterait une telle liaison sur celles susceptibles d'être réalisées en courant alternatif, avec leur luxe d'appareillage mécanique et électrique, les difficultés de mise en parallèle des groupes, le contrôle incessant qu'elles exigent, les phénomènes d'induction dont elles sont le siège, les pertes qui en résultent, sans compter les frais d'installation, sensiblement plus élevés, tant pour les équipements et travaux d'art des usines hydroélectriques, que pour les lignes elles-mêmes.

Il serait profondément regrettable que, dans la politique actuelle d'interconnexion des réseaux, on continuât à méconnaître, comme on l'a fait jusqu'ici, les avantages énormes qu'on pourrait retirer d'un emploi généralisé du courant continu série, tant à la production que dans le transport d'énergie.

M. LEMONNIER, résume son rapport sur *le problème de la sécurité dans les chemins de fer* (1).

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. LEMONNIER qui a exposé d'une manière captivante une question pour laquelle nous sommes tous des profanes, mais peut-être ne le serons-nous pas toujours.

M. LALOY résume son rapport sur *les considérations générales sur la signalisation automatique des chemins de fer* (2).

M. COUREL rappelle sa communication sur *les postes électriques d'aiguillage* (3).

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, n° 74, Octobre 1927, page 1205.

(2) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, Octobre 1927, p. 1223.

(3) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, Juin 1927, page 717.

Digitized by Google

M. TUJA s'est excusé auprès de M. PÉRIDIER de ne pouvoir venir présenter son rapport sur *la signalisation automatique sur les réseaux américains* (1).

M. GUÉRY présente son rapport sur *la récupération jusqu'à l'arrêt des trains* (2).

M. DELLA RICCIA, présente son rapport sur *le système de traction A. D. R. à courant continu, à démarrage sans résistances et à récupération d'énergie* (3).

M. DEMANY. — Je me crois qualifié pour émettre quelques considérations sur les systèmes à récupération, ayant collaboré autrefois à la mise au point et aux essais de l'Equipement S.T.A.R. Messieurs PERRET et OTS-CHEVALIER ne sont malheureusement plus là pour vous exposer le système réalisé par eux. Seul, M. OTS-CHEVALIER aurait pu vous exposer lui-même l'étude magnifique qu'il avait faite de la stabilité du système.

Pour apprécier les avantages d'un système à récupération, par rapport au système sans récupération, avec ou sans shuntage des inducteurs, et par rapport aux systèmes de récupération déjà connus, il faut aborder quatre questions :

— le rendement, compte tenu de la surcharge de poids;

— la complication, cause d'entretien ou de pannes, voire de retard dans le fonctionnement;

— le coût d'établissement;

— l'influence sur la vitesse des trains.

1° Le rendement du système A.D.R. paraît presque le meilleur possible, quoique l'obligation d'augmenter le nombre d'essieux moteurs (obligation propre à tous les systèmes de récupération), permette d'envisager des couplages multiples plus avantageux encore.

2° Du système de récupération au plus simple couplage, c'est-à-dire le S.T.A.R., jusqu'aux couplages multiples à nombreux moteurs, toute une gamme de complications s'étage et il faudrait démontrer par la pratique que la complication de l'A.D.R. est équilibrée par la

(1) *Revue générale des Chemins de fer*, numéros de Mai et Juin 1927.
(2) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, numéro d'octobre 1927, page 1131.
(3) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, numéro de septembre 1927, page 1089.

Digitized by Google

différence de consommation que l'on peut chiffrer à 20 pour cent des pertes du groupe régulateur entre le S.T.A.R. et l'A.D.R.

On doit escompter que la pratique seule se chargera de montrer que la complication du couplage n'amène pas trop de retard d'établissement des régimes théoriques (d'où pertes de temps propres aux systèmes à récupération), mais n'amène pas également des raisons de dérangement dont le flash est un des plus importants, et qui pourrait annuler un semblant d'avantage théoriquement établi.

Quel est l'équivalent en économie d'une panne de service public ?

3° Au point de vue coût d'établissement, je désire attirer votre attention sur un système de récupération étudié par M. PERRET, et breveté par les Ateliers de Jeumont.

Négligeant la récupération aux basses vitesses, M. PERRET, réalisateur du S.T.A.R., a conçu un procédé d'excitation par excitatrice régulatrice qui paraît résoudre la question du flash et qui permet, à très peu de frais, de récupérer une partie des énergies perdues là où elles peuvent être récupérées à grand rendement.

L'excitatrice règle le moteur à partir de la vitesse série au démar-

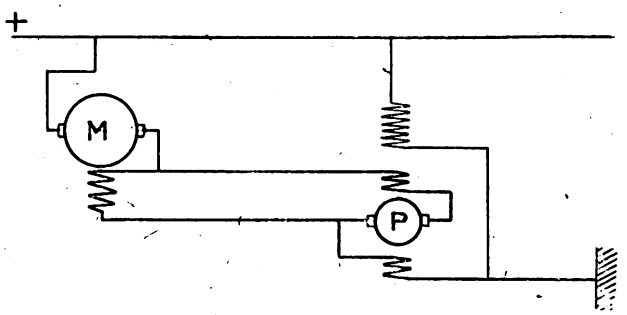


Schéma du système de récupération par excitatrice.
M. Moteur de traction.
e. Excitatrice à 3 enroulements d'excitation.

rage et au freinage et est placée en shunt des excitations des moteurs, avec une réactance suffisante pour que les à-coups passent uniquement dans l'excitation des moteurs. Elle a des enroulements combinés qui règlent automatiquement le courant de démarrage ou de freinage.

Le parallèle de ce système avec le système A.D.R. peut être fait sans que la balance des avantages penche irréfutablement du côté

Digitized by Google

A.D.R. Le S.T.A.R. également 30 pour cent moins coûteux que l'A.D.R. à notre avis, a donné des résultats pratiques que l'on a évalués à environ 20 pour cent d'économie de consommation; on ne peut comparer ces résultats à ceux dont M. DELLA RICCIA a gratifié un peu généreusement le système A. D. R. Il ne tient pas, en effet, assez compte des économies de conduite que réalisent les wattmen sur les horaires théoriques, économiques de l'ordre de 25 pour cent et qui proviennent d'une récupération intelligente des temps gagnés aux arrêts et d'un emploi judicieux des marches en série sur les trajets courts ou en pente.

4° J'insisterai beaucoup sur la question de l'augmentation de vitesse des trains. Il est bien entendu que cette augmentation ne s'obtient qu'en multipliant le nombre d'essieux moteurs de façon à obtenir un freinage suffisant.

Avant d'aborder l'étude des avantages que l'on peut retirer dans ce sens, de la récupération, il y a lieu de fixer un facteur essentiel de comparaison qui est ce que j'appelle $\left(\frac{T}{0}\right)$ l'équivalent en travail (T) du temps gagné (0). Je déforme ainsi simplement l'adage anglais « time is money ».

Réalisant diverses conduites d'un train muni ou non de divers équipements sur le même trajet, on réalise des consommations différentes, mais aussi des temps de parcours différents.

Il faut une commune mesure pour apprécier les résultats, de même que l'on établit économiquement une commune mesure entre l'augmentation des frais d'établissement et la réduction de la consommation.

Pour le cas de non récupération, le facteur d'équivalence admis par l'exploitant peut se mesurer sur une section sans obstacles, par le rapport approximatif

$$\frac{T}{0} = \frac{V^2_f}{40t}$$

est exprimé en wattheures par tonne par seconde;

V_f vitesse au début du freinage en kilomètres à l'heure;

t temps de la course sur l'erre avant freinage;

T est l'économie de consommation en Wh que l'exploitant réaliserait par tonne avec le même équipement en allongeant son horaire de 0 secondes. Dans le cas d'un parcours dont l'horaire global seul est imposé, la marche la plus économique comporte la constance du

Digitized by Google

facteur $\frac{T}{0}$. Rationnellement, il devrait, au contraire, varier suivant l'affluence des voyageurs dans l'intérêt de qui, en définitive on augmente la vitesse. L'horaire devrait donc être décomposé pour en tenir compte.

Les études que j'ai faites sur différents réseaux montrent que le facteur $\frac{T}{0}$ varie de 1 à 10 suivant que la conduite des wattmen est l'objet de primes importantes ou que la consommation est sacrifiée à l'intérêt du respect de l'horaire et du rattrapage des retards.

(Ce dernier cas est celui où deux systèmes de traction, vapeur et électricité sont employés simultanément).

Au Métropolitain $\frac{T}{0} = 1$.

L'économie résultant d'un roulement rapide du matériel justifie $\frac{T}{0} = 0{,}5$ environ. Il reste peu de chose pour la considération du temps des voyageurs.

Cette valeur est donc faible et il en résulte un intérêt de récupération qui, actuellement, n'est pas hors de toute discussion.

Mais philosophiquement, nous pouvons constater et en être fiers, que la valeur du temps de l'homme augmente continuellement par rapport à la valeur de l'énergie.

En conséquence, la valeur visée plus haut du facteur $\frac{T}{0}$ qui correspond à estimer approximativement le temps des voyageurs moins de 1 kWh l'heure doit s'augmenter dans l'avenir.

Dans cette certitude, la récupération doit être de plus en plus à l'ordre du jour.

Si l'on calcule rationnellement, sur la base de $\frac{T}{0}$ élevé, l'utilisation des systèmes de récupération, l'on constate que leur avantage sera plus important en augmentation de vitesse qu'en réduction de consommation.

L'augmentation rationnelle de vitesse paraît dans certains cas, doubler l'avantage de la récupération.

Je considère donc que M. Della Riccia n'est pas fondé à ne retenir, dans un but d'économie visible, que l'équipement d'un nombre restreint de voitures qui, forcément devront se plier aux conditions de vitesse des voitures sans récupération et cela justement aux heures d'affluence par suite des nécessités de la signalisation.

Digitized by Google

M. LE PRÉSIDENT. — M. DEMANY a dit qu'un équipement Star mis en service sur le Métropolitain avant la guerre, en avait été retiré; pourrait-il nous dire pourquoi ?

M. DEMANY. — Cet équipement avait donné des résultats intéressants mais non concluants. L'expérience cependant a été confirmée par un essai en service. Celui-ci fût réalisé pendant la guerre ; mais à ce moment les Ateliers de Jeumont dont les usines étaient envahies ne se sont pas souciés de faire des frais importants pour ces essais. Néanmoins, sous sa forme primitive, cet équipement a assuré le service des voyageurs en 1915 et 1916 (sur 20 000 km environ), sur la ligne n° 3 « Porte Champerret-Gambetta ».

Finalement, cet équipement, compliquant l'entretien, a été mis hors service. L'économie de courant réalisée ne paraissait pas déterminante, vu les frais de modification et d'entretien. Ceci sortait de la question technique. Il y a eu également un flash accidentel qui a fait mauvais effet.

M. LE PRÉSIDENT. — Comment se comporte le groupe de réglage lorsque la tension du réseau varie. N'avez-vous pas rencontré des difficultés, ou avez-vous pris des précautions à cet effet ?

M. DELLA RICCIA. — La stabilité du subdiviseur de tension, qui est une machine excitée en dérivation, sous une tension variable, avait au début préoccupé le constructeur qui avait disposé en série avec chacun des quatre enroulements induits un enroulement de champ en compound.

Mais des essais faits exprès sur une voiture de tramway, munie d'un équipement provisoire et d'un subdiviseur de tension rudimentaire, démontrèrent que les quatre compounds étaient inutiles.

En effet, on a ouvert et fermé à plusieurs reprises l'interrupteur général — ce qui correspond à des variations de tension très importantes : tout ou rien — et à aucun moment il n'y a eu de coup de feu aux collecteurs. Ceci peut être expliqué par le fait que le groupe des deux armatures et des deux inducteurs, pris dans son ensemble, est toujours très loin de la saturation magnétique; de manière que la machine soit susceptible de modifier sensiblement son état magnétique sous une petite variation de ses excitations, et d'empêcher ainsi, par une sensible variation des forces contre-électromotrices, une forte variation du courant absorbé comme une forte variation de vitesse.

Digitized by Google

M. LE PRÉSIDENT. — Je suis surpris que l'on puisse ouvrir et fermer l'interrupteur à des intervalles de temps appréciables.

M. DELLA RICCIA. — Au démarrage, après avoir ouvert l'interrupteur, on a souvent compté lentement jusqu'à dix avant de le refermer. La vitesse du groupe tombait lentement, mais le groupe ne s'arrêtait pas. Au freinage, la même manœuvre déterminait une augmentation de vitesse; mais à une certaine vitesse limite, un appareil de sécurité isolait les moteurs.

M. LE PRÉSIDENT. — C'est sur ce point qu'il serait surtout intéressant d'avoir des éclaircissements. M. GUÉRY ne pourrait-il nous en donner ?

N'avez-vous pas relevé d'oscillogrammes de tension ?

M. GUÉRY. — Je ne crois pas que les variations soient bien rapides.

M. LE PRÉSIDENT. — Les variations au tableau se suivent peut-être lentement. Je croyais qu'en particulier pour le S. T. A .R., on avait rencontré de grandes difficultés.

M. DEMANY. — Le S.T.A.R. sous la forme primitive présentait une erreure principe reconnue, il avait trop peu d'essieux moteurs. De ce fait, le freinage n'était pas suffisant et il était difficile de maintenir l'horaire.

On avait voulu remplacer simplement par l'équipement de récupération un équipement Sprague-Thomson, alors que les moteurs travaillant davantage, il est logique d'avoir un plus grand nombre d'essieux moteurs.

Il y a eu un ou deux flashes au bout d'un an de service dans des conditions spéciales. Il se produit au Métropolitain des flashes sur des moteurs shunts branchés sur le réseau de traction et surtout en bout de ligne. Des moteurs d'ascenseurs identiques ne donnant lieu à aucun incident à l'Opéra, ont dû être modifiés aux Lilas. Il peut donc y avoir dans les réseaux de traction des coïncidences néfastes pour les équipements à récupération, mais ne se présentant que très rarement, à moins que les flashes ne proviennent tout simplement d'incidents d'entretien.

M. LE PRÉSIDENT. — Il me semble que M. DELLA RICCIA a parlé pour les moteurs d'une augmentation de puissance de 40 pour cent.

Digitized by Google

M. DELLA RICCIA. — Pour ce qui est des moteurs à employer comme générateurs au freinage à récupération, il y a lieu de distinguer l'effort maximum qu'ils ont à développer et l'échauffement auquel ils sont assujettis en cours d'exploitation.

Au freinage, les moteurs doivent produire un couple résistant du même ordre que le couple moteur qu'ils doivent développer au démarrage; le courant dans l'armature et dans le contre-compound peut dépasser de 10 à 25 pour cent le courant nécessaire au démarrage, tandis que le courant dans la partie du champ qui est à alimenter par l'excitatrice peut être au plus égal au courant nécessaire au démarrage.

Quant au courant moyen quadratique ou efficace correspondant aux deux opérations de démarrage et de freinage, il dépasse de 26 à 40 pour cent le courant analogue correspondant au seul démarrage.

En gros, on peut dire que la puissance unihoraire des moteurs doit être accrue dans le rapport de 110 à 100, alors que la puissance continue doit être accrue dans le rapport de 140 à 100.

Mais chaque cas est à étudier séparément. Ainsi, dans un cas particulièrement défavorable au point de vue de la puissance des moteurs, j'ai trouvé que, tandis qu'au démarrage le courant maximum s'élevait à 186 A et le courant efficace (calculé sans tenir compte de la durée des arrêts) s'élevait à 97 A, au freinage, le courant maximum s'élevait à 232 A dans l'armature et dans le contre compound et à 180 A dans le champ principal. Tenant compte des résistances ohmiques de ces deux parties, ces deux courants valaient un courant unique de 214 A. Le courant moyen quadratique ou efficace pour l'ensemble des deux opérations, démarrage et freinage, s'établissait à 135 A. On trouvait donc dans ce cas : entre les courants maximum, le rapport 214 : 186 = 115 : 100; entre les courants efficaces, le rapport 135 : 97 = 139 : 100.

Dans le cas d'un tramway où les moteurs seraient déjà employés au freinage rhéostatique ou autre, l'application du freinage à récupération n'entraînerait aucun changement dans les moteurs.

Dans le cas du Subway de Buenos-Ayres, les moteurs en service étaient capables de fournir le couple requis au freinage, mais cette opération, jointe au démarrage, les aurait surchauffés. Moyennant une addition d'ailettes de ventilation à l'armature et le remplacement des deux flashes, la puissance continue de ces moteurs a pu être augmentée dans une mesure dépassant celle exigée pour l'application de la récupération.

Digitized by Google

UN MEMBRE. — Que devient l'effort de freinage lorsque la tension vient à manquer ?

M. DELLA RICCIA. — Si la tension vient à manquer pendant le freinage, le groupe de réglage, alimenté par les moteurs fonctionnant comme générateurs, peut s'emballer. Mais, comme je l'ai dit déjà, un relais *ad hoc* isole alors les moteurs.

Au lieu de cette disposition, on peut en adopter d'autres, comportant l'emploi de résistances différemment connectées pour absorber l'énergie débitée par le groupe de réglage ou par les moteurs. On peut encore désexciter les moteurs, etc.

On peut en outre, au moyen du relais, mettre en activité un moyen de freinage indépendant comme le frein à air qu'il ne convient pas d'abolir, mais qu'on peut réduire.

LE MÊME MEMBRE. — Et dans le cas de court-circuit sur la voiture?

M. DELLA RICCIA. — En cas de court-circuit, l'interrupteur à maximum déclanche.

M. DEMANY. — En ce qui concerne la coupure du courant de traction, je dois ajouter que lors des essais, les moteurs de traction n'ont pas donné de flashes, et cependant aux Chemins de fer de l'Etat, on en a observé sur plusieurs moteurs de fabrications différentes lorsque les inducteurs de ces moteurs étaient légèrement shuntés par une résistance.

Mais à l'Etat, il y a des ruptures fréquentes de la prise de courant, ce qui n'existe pas au Métropolitain. L'on peut donc se demander comment se comporteraient les groupes de récupération et les moteurs en cas de coupure.

M. LE PRÉSIDENT. — Le moteur série a tellement d'avantages au point de vue commutation, et on a tant parlé des difficultés des moteurs de traction à excitation séparée que je ne comprends pas bien comment toutes ces difficultés ont disparu. Vous n'avez pas eu de difficultés pour la commutation ?

M. DELLA RICCIA. — Pour le démarrage et la marche normale, les moteurs gardent leur excitation en série.

Pour adapter les moteurs de traction normaux au freinage, j'ai imaginé de subdiviser leur enroulement de champ en deux parties.

Digitized by Google

l'une plus petite, toujours en série avec l'armature et fonctionnant comme contre-compound, l'autre plus importante, qui, alimentée par l'excitatrice commandée par le groupe de réglage, fournit le champ principal.

Plusieurs ingénieurs venus de différents côtés assister à tout ou partie des essais de 1926, ont pu constater que les moteurs ainsi contre-compoundés fonctionnaient de manière irréprochable, même lorsque le freinage commençait à des vitesses très élevées, ce qui constitue le point délicat.

En 1924, au lieu de placer le contre-compound directement sur les moteurs eux-mêmes, c'est l'excitatrice que l'on désexcitait partiellement au moyen du courant des moteurs. Cette méthode bien connue, présente l'inconvénient d'un certain retard de fonctionnement, car la désexcitation des moteurs ne peut que suivre celle de leur excitatrice.

L'autre méthode, du contre-compoundage direct, présente l'inconvénient de diminuer le couple résistant limite, à moins que l'on n'augmente les deux courants qui circulent dans la machine et l'échauffement de celle-ci. Dans le cas des moteurs du Subway de Buenos-Ayres, ce désavantage n'entraînait pas à conséquence.

Un Membre. — Le groupe de réglage est une machine compensée?

Le subdiviseur de tension est, en effet, une machine compensée.

J'ai indiqué dans ma note comment la vitesse de rotation de cette machine varie, deux fois au démarrage et deux fois au freinage. Ces variations de vitesse peuvent être corrigées par un compoundage approprié ou par un déplacement des balais en arrière de la ligne neutre sur les quatre collecteurs.

Au cours de certains essais, ces variations de vitesse étaient exagérées par le fait que les balais ne se trouvaient pas exactement à la ligne neutre mais un peu en avant, et qu'il n'était pas possible de corriger ce défaut, les balais étant fixes par construction.

Les variations de la vitesse influent sur la tension de l'excitatrice. Cette excitatrice était d'abord excitée en shunt. Elle se ressentait donc doublement des variations de vitesse du groupe qui la commandait. Pour la rendre moins sensible à ces variations, on a remplacé l'excitation shunt par une excitation indépendante sous la moitié de la tension du réseau, prise entre la borne du milieu du groupe de réglage et une de ses bornes extrêmes.

M. le Président. — Mais sur le groupe de réglage lui-même vous

Digitized by Google

n'avez aucun compoundage. C'est curieux que ce groupe qui n'a qu'une excitation shunt ne donne lieu à aucun inconvénient lors des variations brusques de tension sur le réseau.

M. DELLA RICCIA. — J'ai dit déjà que des essais faits sur une voiture de tramway avec du matériel provisoire avaient démontré l'inutilité de tout compoundage sur ce groupe.

Comme les équipements et les groupes de réglage définitifs étaient déjà en construction à l'époque des dits essais, les groupes de réglage définitifs furent construits avec les compounds reconnus inutiles. Ces compounds furent continuellement court-circuités pendant tous les essais de 1924. En 1925, ces compounds furent totalement supprimés et plus de place fut donnée aux excitations shunt. Les essais de 1926 furent effectués en l'absence de tout compound, et c'est sans compounds que les groupes ont été envoyés en exploitation à Buenos-Ayres.

Il y a d'ailleurs plusieurs différences entre un moteur shunt employé à la traction d'un train et mon groupe subdiviseur de tension.

Ce dernier a un fonctionnement complexe : c'est d'abord un transformateur complet et ensuite un moteur faiblement chargé.

C'est un transformateur en tant qu'il comprend deux enroulements induits fonctionnant comme moteurs et deux autres fonctionnant comme générateurs, et s'alternant dans ces fonctionnements. Les quatre enroulements se font dynamiquement équilibre et sont tous en série sous la tension du réseau.

C'est un moteur en tant qu'il commande l'excitatrice qui a une faible puissance par rapport à celle du groupe.

Si la tension s'élève brusquement aux bornes du moteur shunt, le courant d'excitation et le flux magnétique suivent en retard, et le courant peut s'élever dans l'armature d'autant plus que la vitesse est lente à monter du fait des résistances opposées par le train.

Dans le même cas, le subdiviseur de tension absorbe un courant moteur supplémentaire dans ses quatre enroulements, même dans les deux fonctionnant comme générateurs. Ce courant n'a à vaincre que la résistance provenant de l'excitatrice. La vitesse du groupe peut donc monter assez facilement.

Supposons le réseau à 600 V et que, en un certain temps, le courant d'excitation du moteur de traction excité en shunt s'élève de un pour cent. La machine étant saturée, sa force contre-électromotrice pourra croître d'environ 1,25 V.

Digitized by Google

Supposons que le groupe soit momentanément excité de manière à fournir 100 V à deux collecteurs et 200 V aux deux autres, sur les 300 correspondant à la saturation, et que pareillement dans le même temps les deux courants d'excitation s'élèvent de un pour cent. Les quatre forces contre-électromotrices s'élèveront, deux de 0,80 et deux de 1,20 V environ, de manière que la force contre-électromotrice totale s'élèvera de 4,00 V, c'est-à-dire de plus que le triple dans le cas du moteur.

Cette circonstance est propre à diminuer en même temps l'augmentation du courant d'armature et la vitesse de rotation du groupe par rapport aux éléments analogues dans le moteur shunt normal.

J'ajoute que les circuits d'excitation du groupe de réglage ne sont pas alimentés à 600 V comme ceux du moteur, mais à 300 et que ces circuits comprennent, lorsque les excitations doivent fournir 100 et 200 V sur 300, une partie sensible des rhéostats de champ, ce qui diminue la constante de temps de ces circuits.

Pour toutes ces raisons, le subdiviseur de tension excité en shunt fonctionne mieux qu'un moteur shunt normal.

M. DEMANY. — Permettez-moi d'ajouter un mot au sujet d'une observation faite par M. GUÉRY et reprise par M. DELLA RICCIA.

A la fermeture de la récupération dans le S.T.A.R., il y a une oscillation, car on couple avec une différence de tension, mais les conditions de stabilité sont respectées. Il n'y a pas lieu d'attacher d'importance à cette question, car j'ai fait des essais consistant à coupler, moteurs lancés, avec une différence de tension égale à la tension totale de la ligne. Ceci prouve que toutes les questions de commutation peuvent être résolues. On a pu d'ailleurs supprimer au Métropolitain l'oscillation qu'a remarquée M. GUÉRY.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie vivement M. GUÉRY de nous avoir donné des renseignements aussi complets sur ce qui a été fait. M. DELLA RICCIA qui nous a fait un exposé tout à fait intéressant, et M. DEMANY qui nous a rappelé les résultats obtenus avec le S.T.A.R. Nous avons donc maintenant trois solutions pour obtenir la récupération et économiser des sommes considérables.

Digitized by Google

Séance du Vendredi 28 Octobre 1927

5e SECTION.
TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

SOMMAIRE

1° Discussion du rapport de M. LE CORBEILLER sur les haut-parleurs. — MM. POMEY, LANGE : rappel de l'appareil gerlach et méthode américaine par téléphones condensateurs, p. 393. — M. LANGE : renseignements sur le disque de Rayleigh, p 394. — MM. Louis CAHEN, LANGE : résonance des récepteurs téléphoniques, p. 395. — M. BETHENOD : comparaison entre les haut-parleurs et les moteurs synchrones et rappel des théories de Poincaré ; recherche des puissances de résonance des haut-parleurs ; emploi des shunts magnétiques dans les haut-parleurs, p. 396.

2° Discussion du rapport de M. GOSSELIN sur les systèmes modernes d'horlogerie électrique. — M. POMEY : emploi des électro-aimants polarisés préconisés par M. Richard, p. 399.

3° Discussion du rapport de M. LAVET sur la remise à l'heure automatique des pendules par T S. F. (procédé de la Société Anonyme Hatot). — MM. POMEY, LAVET, REYNAUD-BONIN : signaux à employer pour la remise à l'heure, p. 400. — Ateliers BRILLIÉ : méthode employée par cette Maison pour l'application de la résonance à la remise à l'heure et pour la correction lente des pendules, p. 402.

Présidences successives de :

M. BETHENOD, *Ingénieur-Conseil*

et de M. REYNAUD-BONIN, *Directeur de l'Exploitation téléphonique de Paris.*

M. LANGE présente au nom de M. LE CORBEILLER, actuellement en Amérique, son rapport sur *le Haut-parleur* (1).

M. POMEY. — Si j'ai bien compris ce que disait M. LANGE, nous n'avons pas actuellement encore de données bien nettes, relativement à la prédétermination d'un haut-parleur.

S'il s'agissait de faire un cahier des charges pour un appareil de ce genre, je voudrais savoir quelles sont les spécifications qu'on aurait à imposer ?

Il me semble qu'en dehors des appareils de mesure indiqués par M. LE CORBEILLER, il y a à considérer l'appareil imaginé par E. GER-

(1) *Annales des P. T. T.*, n° d'octobre 1927.

Digitized by Google

LACH (1), qui n'offre peut-être pas le même degré de précision, mais qui serait d'un fonctionnement très commode. C'est une membrane qui est soumise d'un côté à l'action des ondes sonores qui émanent du haut-parleur et de l'autre à un champ magnétique antagoniste produit par un courant alternatif. Cet appareil me paraît de nature à être plus facilement mis entre toutes les mains que les autres appareils.

M. LANGE. — Il est sans doute possible d'appliquer la méthode de Gerlach à l'étude des haut-parleurs. Je l'ai vu mettre en pratique dans un grand laboratoire étranger il y a quelques années, mais c'était pour étudier des récepteurs téléphoniques. Dans les laboratoires d'acoustique que je connais ou sur lesquels j'ai des renseignements, la méthode de Gerlach n'est pas utilisée pour l'étude, même rapide, des haut-parleurs.

M. POMEY. — L'appareil américain de mesure absolue d'un son repose sur la propriété de condensation, dilatation d'une couche d'air cylindrique sous l'action d'un fil chauffé par un courant alternatif.

Lorsque pendant la guerre j'ai été aux Etats-Unis (1917), cette méthode avait déjà été employée, elle était décrite dans la *Physical Review*.

Les Américains se servaient comme téléphone d'un téléphone condensateur. L'étalon international doit être construit par M. L. J. SIVIAN.

M. LANGE. — Au cours d'un voyage que j'ai fait l'an dernier en Allemagne, j'ai pu constater qu'on y employait également des téléphones condensateurs concurremment avec des disques de Rayleigh.

M. POMEY. — Pourriez-vous nous indiquer comment fonctionne le disque de Rayleigh ? (2).

M. LANGE. — C'est un petit disque très léger suspendu à un fil de torsion et séparé de l'air ambiant par une boîte dont les parois sont en celluloïd, à l'exception des parois antérieure et postérieure qui sont en gaze.

Ces parois de gaze sont transparentes à une vibration sonore, mais protègent le disque contre l'agitation de l'air ambiant.

---

(1) *Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens Konzern*, 1923, t. III, p. 139.

(2) Consulter *Sound*, par E.-G. RICHARDSON, *B.-A., M. Sc., Ph-D*, p. 216, Edward Arnold et Cᵉ, London, éditeurs, ou *Phil. Mag.* 14.186-1882 (Rayleigh). (Note communiquée par M. Pomey.)

Digitized by Google

Lorsqu'un train d'ondes sonores atteint le disque, dont le plan est disposé obliquement par rapport à leur front, le disque dévie. On mesure cette déviation par un procédé optique et on sait en déduire la vitesse des tranches d'air autour de leur position moyenne, dans l'espace environnant le disque. On étalonne l'appareil au moyen d'un courant d'air continu grâce aux formules connues.

Les téléphones condensateurs sont sensibles, eux, non à la vitesse, mais à la pression. On peut les étalonner au moyen du thermophone dont a parlé M. POMEY.

Pour comparer les indications d'un disque de Rayleigh et d'un téléphone condensateur on peut, ainsi que je l'ai vu faire, les placer respectivement à un ventre et à un nœud d'une onde stationnaire entretenue dans un tube cylindrique.

Je signale ici que le Comité consultatif international de téléphonie à grande distance a décidé l'installation au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris, d'un circuit téléphonique de référence. Les études d'électro-acoustique vont recevoir de ce fait, j'en suis persuadé, une très grande impulsion. Il sera, en effet, désormais possible aux constructeurs et aux Administrations de faire étudier en fonction de la fréquence les rendements énergétiques (volts par barye ou barye par volt de leurs émetteurs ou de leurs récepteurs, la distorsion de leurs appareils, etc...)

De grands progrès sont à attendre pour l'électro-acoustique, science encore fort empirique, de la généralisation de ces mesures quantitatives.

M. CAHEN Louis. — Au dernier congrès des techniciens téléphonistes à Côme, on a parlé du rendement des récepteurs téléphoniques, et on a insisté sur la résonance assez aiguë de ces récepteurs. Cependant l'intelligibilité est bonne pour les bons appareils courants.

J'ai eu l'impression qu'on n'a pas encore bien vu comment, bien que les récepteurs transmettent avec une distorsion très grande, l'oreille n'avait pas cette impression de distorsion.

M. LANGE. — En tous cas, dans le récepteur du circuit de référence, la période de résonance est en dehors des fréquences acoustiques, la membrane étant hypertendue. Par conséquent, ce défaut-là n'existe pas.

M. CAHEN Louis. — Il est intéressant de savoir si dans ce cas l'oreille aura une impression nettement plus pure.

M. LANGE. — J'ai écouté, il y a deux ans, la transmission de la pa-

Digitized by Google

role à travers le circuit de référence exposé quelques temps à Paris par la Western Electric C° (circuit composé d'un microphone condensateur, d'une ligne artificielle et d'un écouteur, chacun de ces organes étant dépourvu de distorsion appréciable en fonction de la fréquence). On a l'impression d'entendre la voix naturelle. Si bien que, lorsqu'on voudra comparer les appareils commerciaux aux organes correspondants du circuit de référence, on sera obligé d'introduire des déformations systématiques dans ce circuit pour pouvoir faire des mesures précises.

M. BETHENOD. — J'ai moi-même une légère observation à faire au sujet de la communication de M. LE CORBEILLER.

D'abord, je remarque que dans ses indications bibliographiques, M. LE CORBEILLER ne mentionne pas un seul auteur français. Il y a tout de même quelques auteurs français qui ont publié des études très importantes sur le sujet, sans parler des auteurs qui travaillent encore la question actuellement.

Je tiens à faire remarquer, par exemple, qu'il y a une comparaison extrêmement intéressante, signalée du reste par M. LE CORBEILLER, à établir entre le haut-parleur et le moteur synchrone rotatif. Je signalerai en particulier que les équations données par M. LE CORBEILLER ont été publiées, dans notre Bulletin du 6 juillet 1887, p. 368, par M. MASCART qui était alors président de notre Société. Il a fait ce jour-là une communication extrêmement intéressante sur la théorie du téléphone, mais comme c'est déjà très ancien, peu de gens s'en souviennent, malheureusement.

Plus récemment, il y a un grand savant français qui a fait une théorie complète du téléphone, Henri POINCARÉ. Elle a paru dans l'*Eclairage Electrique* en 1907.

M. POMEY. — C'était des conférences faites à l'Ecole Supérieure des P. T. T., en 1905-1906; j'étais l'un de ses auditeurs. Dans le volume II de mon cours d'Electricité théorique qui paraîtra en décembre 1927, je redonne l'essentiel des calculs de Poincaré, pour mettre les équations fondamentales sous la forme qu'on donne aux équations du quadripôle électromagnétique; on obtient alors les équations du quadripôle électromécanique, telles que KENNELLY les a établies. Cependant les hypothèses de POINCARÉ et celles de KENNELY n'étant pas tout à fait les mêmes, les coefficients n'ont pas des significations rigoureusement identiques; on pourra faire la comparaison, si l'on veut.

Digitized by Google

M. BETHENOD. — Un autre point sur lequel je peux donner des indications, c'est la recherche des fréquences de résonance des haut-parleurs. En réalité, j'ai eu l'occasion de m'occuper par intermittence de la question des haut-parleurs. On a affaire à un système mécanique élastique complexe qui possède parfois plusieurs fréquences propres. Pour rechercher ces fréquences propres, j'avais conseillé, au laboratoire de la Société Française Radio Electrique, la méthode suivante, qui a été mise au point par M. PODLIASKY.

On prend un alternateur musical comme ceux utilisés pour la Télégraphie sans Fil avec étincelles. Si on le fait marcher en court-circuit à vitesse variable avec excitation fixe, comme la force électromotrice est proportionnelle à la vitesse, ainsi que la chute de tension réactive qui l'équilibre aux pertes près, le courant est sensiblement constant. On a ainsi par conséquent une source de courant constant à fréquence variable. En fait, on n'établit pas un réel court-circuit, mais on débite sur une résistance ohmique très faible, aux bornes de laquelle on recueille une tension constante en amplitude, mais de fréquence variable. On peut donc très rapidement, en faisant varier la vitesse de l'alternateur, rechercher les points de résonance du haut-parleur étudié.

En réalité, la plupart du temps, les haut-parleurs possèdent plusieurs fréquences de résonance, et non pas seulement celle de la membrane. On n'a pas affaire à une masse concentrée, et le système oscillant est souvent très complexe. De plus, il y a une chose très importante à éviter, ce sont les vibrations de tous les organes accessoires. Il faut que les supports soient massifs, pour ne donner lieu à aucune vibration, sous peine d'altérer le timbre.

Il existe une méthode générale pour éviter l'effet d'une résonance gênante pour la reproduction de la parole; elle consiste à la situer soit très au-dessus des fréquences de la parole, soit au-dessous. En général, il est assez difficile d'établir un appareil très sensible dont la fréquence propre soit au-dessus de la fréquence acoustique. On trouve dans le commerce des haut-parleurs qui donnent de bons résultats, mais dont la fréquence propre est très basse; cela renforce un peu trop les sons très graves, mais la parole est peu altérée d'habitude.

Comme je l'ai indiqué il y a quelques années, on peut corriger la résonance mécanique en adjoignant au haut-parleur des systèmes de condensateurs et de bobines de self-induction, de manière que si une certaine fréquence est *mécaniquement* avantagée, elle se trouve désavantagée *électriquement*. En d'autres termes, si dans le circuit qui

Digitized by Google

alimente le haut-parleur, on intercale par exemple ce qu'on appelle un « bouchon » on conçoit qu'on puisse limiter le courant en augmentant l'impédance totale du récepteur juste pour la fréquence de résonance *mécanique*. La sensibilité de l'appareil est alors uniformisée.

Je dois ajouter que j'ai exécuté moi-même quelques expériences à ce sujet. Je sais d'ailleurs qu'en Amérique, pour certains haut-parleurs étalons, on a utilisé des filtres électriques dans un but analogue; leur établissement doit être fait avec soin.

En ce qui concerne le haut-parleur, et même le téléphone en général, il y aurait encore beaucoup à dire. Le rapport de M. Le Corbeiller est très bien fait, mais il a été assez limité comme étendue. Il y a encore une question très intéressante, c'est la question de l'utilité d'un shunt magnétique dans les téléphones. C'est une idée qui a été reprise différentes fois, et qui est la suivante :

On a constaté expérimentalement que quelquefois, dans les haut-parleurs, on avait intérêt à disposer un shunt magnétique sur l'aimant.

Un physicien allemand, Seibt, a établi des haut-parleurs sur ce principe. Cette idée paraît un peu anormale à première vue. On conçoit cependant que le shunt puisse jouer un rôle utile par le raisonnement suivant :

Le système le plus simple de moteur pour haut-parleur est un aimant aux extrémités duquel on dispose des masses en tôle feuilletée portant le bobinage.

Si on envoie du courant alternatif dans ce bobinage, le flux alternatif tend à se fermer par l'aimant dont la réluctance est assez grande. Si on dispose un shunt magnétique pourvu d'un entrefer, on conçoit qu'une partie du flux alternatif dû au courant téléphonique peut passer par ce shunt moins réluctant que l'aimant.

Or, en première approximation, l'effet sur la palette est porportionnel à chaque instant au produit du flux permanent dû à l'aimant par le flux alternatif créé par le courant téléphonique.

Si on crée une dérivation, une partie du flux permanent ne passe plus par la palette, mais le flux alternatif est renforcé au moyen d'une hétérodyne spécialement construite à cet effet, utilisant les battements de deux sources de fréquence inaudible.

Je ne veux pas défendre l'artifice dont j'ai parlé, je veux seulement insister sur ce point qu'en l'employant on est sûr de ce qu'on fait par principe, tandis qu'avec l'appareil américain il faut pouvoir vérifier

Digitized by Google

que la tension est bien constante, à toutes fréquences; cela nécessite un certain matériel de contrôle.

M. LANGE. — Cela nécessite un voltmètre.

M. GOSSELIN présente son rapport sur *les systèmes français modernes d'horlogerie électrique* (1).

M. POMEY. — M. GOSSELIN nous a expliqué le grand intérêt qu'il y avait à faire agir des électro-aimants polarisés.

Au Conseil de Perfectionnement du Conservatoire national des Arts et Métiers, j'ai eu souvent l'occasion de m'entretenir avec le vénérable M. RICHARD, et je me souviens qu'il m'a expliqué qu'au moment de la création des distributions d'heure par les horloges publiques électriques à Paris, il avait réussi un progrès considérable, en empêchant radicalement les déraillements dus aux contacts redoublés intempestifs produits par les vibrations et les mauvais contacts en employant des électroaimants *polarisés*, lesquels n'enregistrent jamais alors qu'une seule impulsion, parce que, pour enregistrer l'impulsion suivante, ils exigent que le courant ait changé de sens. Il n'est que juste de reporter le mérite de cette invention pratique à son auteur, M. RICHARD.

M. LAVET présente sa communication sur *la remise à l'heure automatique des pendules par T. S. F.* (2).

M. REYNAUD-BONIN. — Je remercie M. LAVET de sa très intéressante communication sur la remise à l'heure des horloges par la T. S. F. Elle complète la communication de M. GOSSELIN d'une manière très heureuse.

M. GOSSELIN nous a entretenus il y a quelques instants de certains procédés de remise à l'heure par T. S. F., je crois que les procédés que M. GOSSELIN nous a indiqués n'étaient que des procédés d'opération à heure fixe et ne pouvant corriger que des écarts assez faibles, de l'horloge à corriger.

---

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VII, 4e série, octobre 1927, page 1253.

(2) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, tome VIII, 4e série, février 1928, page 162.

Digitized by Google

Les procédés de M. LAVET de la Société Anonyme des Etablissements Hatot, sont d'une grande souplesse puisqu'ils permettent de corriger à la fois des écarts importants et de faire la remise à l'heure à intervalles fréquents, par exemple tous les quarts d'heure si l'on veut, ainsi que nous l'a signalé M. LAVET. Il y a donc de gros perfectionnements dans l'horlogerie et dans les applications de la T. S. F. qui se multiplient toujours.

Si quelqu'un veut ouvrir une discussion sur la communication de M. LAVET, elle pourra certainement être extrêmement féconde.

M. POMEY. — Je n'ai pas très bien compris si les signaux qu'on utilise sont des signaux actuellement émis par les postes de T. S. F.

Il y a dans le système que vous indiquez deux choses : un procédé de mise à l'heure et un mécanisme qui permet d'utiliser ce procédé. Est-ce que pour employer votre système, il faudrait donner une consigne nouvelle aux différents postes de télégraphie sans fil, ou bien y a-t-il actuellement dans les différents postes télégraphiques ou téléphoniques sans fil des signaux qu'on puisse utiliser tels qu'ils sont actuellement ? Je ne me rends pas bien compte d'après votre exposé si c'est quelque chose à faire ou bien quelque chose qui est déjà fait.

Si j'ai une pendule comme celle-ci, que je désire mettre à l'heure par T. S. F. quels sont les signaux que je vais utiliser ? Ai-je besoin de demander à un poste de m'envoyer des signaux rythmés, ou bien les envoie-t-il déjà ?

M. LAVET. — Le bureau international de l'heure envoie déjà des signaux rythmés. Ces signaux sont des tops brefs émis à la cadence de 61 par minute et servent à la mesure très précise de l'heure par la méthode des coïncidences. Ces battements pendulaires sont interrompus à heure fixe. On peut donc les utiliser actuellement pour la remise à l'heure des pendules.

M. POMEY. — Est-ce à heure fixe ?

M. LAVET. — Actuellement, c'est à heure fixe mais ce serait à mon avis plus intéressant si on obtenait que les postes d'émission de T. S. F. fassent une émission spéciale plus fréquente de signaux de réglage au cours de concerts. Je crois que cela ne présente aucune difficulté, d'ailleurs j'en ai parlé à différents postes d'émission parce que, actuellement, par publicité on fait l'annonce de l'heure. On dira par exemple : « je vais vous donner l'heure exacte en observant telle pendule ». On donne déjà également l'heure au moyen d'un carillon

Digitized by Google

électrique qui sert de réclame. Il n'y a donc aucune difficulté, en principe, pour obtenir des stations d'émission comme la Tour Eiffel ou comme Radio-Paris, ou peut-être la station des Postes et Télégraphes, qu'elles émettent un signal spécial, du moment qu'on émet de la publicité et des concerts qui n'ont pas une utilité pratique aussi considérable que la remise à l'heure automatique des pendules.

Si même parmi les membres de la Société des Electriciens je pouvais trouver quelque concours pour faire adopter l'émission de ce signal, je serais très heureux que ma communication ait cette conséquence pratique.

M. Pomey. — Il y a difficulté si le signal à émettre est lié au dispositif particulier de remise à l'heure; s'il en était ainsi, on favoriserait un procédé particulier. Quelle que soit la nature de l'émission, il faut que les dispositifs de remise à l'heure s'y adaptent.

M. Reynaud-Bonin. — Il semble qu'il y aurait intérêt à ce que le procédé de remise à l'heure de la Société Hatot soit communiqué à toutes fins utiles au Bureau de l'Heure, afin qu'il puisse examiner si certaines modalités de signaux de T. S. F. conservant un caractère de signal général utilisable pour tout le monde, pourraient tout de même être tels que le système de remise à l'heure Hatot se serve de ce signal là.

M. Lavet. — Pour le Bureau de l'Heure, il n'y a aucune difficulté, puisque ce signal existe déjà, comme je le disais tout à l'heure. Mais, je me suis placé dans un cas tout à fait particulier, le cas de l'horloge domestique qu'il est intéressant de mettre à l'heure au moyen d'un poste de téléphonie tout à fait courant.

Pour le signal émis actuellement par le Bureau International de l'Heure, il ne sera probablement pas très pratique parce qu'il aura lieu à 9 heures du matin ou à minuit ou au voisinage de minuit. Ce qui serait intéressant, c'est qu'au cours de concerts ou d'émissions écoutées habituellement, on puisse remettre sa pendule à l'heure.

M. Reynaud-Bonin. — Je vois très bien votre point de vue, mais si un certain signal adopté par le Bureau de l'Heure était convenable, les divers postes de T. S. F. pourraient sans inconvénient peut-être, émettre ce signal à différentes heures de la journée, afin que les amateurs possédant des postes de T. S. F. puissent s'en servir à ces heures

Digitized by Google

commodes pour régler leurs horloges, mais il faudrait d'abord que ce fut un signal agréé par le Bureau de l'Heure et pouvant être utilisé avec des horloges de toutes marques.

M. LAVET. — Je crois qu'un signal de ce genre-là, battant à un coup par seconde peut s'accorder sur de nombreuses combinaisons d'horlogerie différentes de celles de la Maison Hatot.

M. POMEY. — Il y a une installation extrêmement compliquée à la Tour Eiffel, on ne peut pas s'amuser à changer cela.

M. CHAUVEAU. — Il y a l'heure de la pendule astronomique, de la pendule de précision à laquelle il faut conserver son exactitude rigoureuse, et puis il y a la pendule que l'on a chez soi, qui n'a pas besoin d'être remise à l'heure à une fraction de seconde près.

Les gens, qui chez eux, écoutent les émissions de T. S. F. entendent dire : « Il est 8 h. 32 ». A ce moment-là ils poussent leur aiguille. En réalité, l'appareil qui vient d'être décrit évite tout simplement aux gens de pousser leur aiguille.

M. LAVET. — C'est la remise à l'heure à deux ou trois secondes près, ce n'est pas la remise à l'heure destinée aux astronomes.

M. CHAUVEAU. — Le point à réaliser est une installation à bon marché pour les personnes possédant un poste de T. S .F., installation leur permettant de remettre facilement à l'heure leur pendule.

M. LAVET. — Je crois très utile que l'émission soit faite au cours d'un concert, fréquemment écouté, cela évite à l'usager la peine d'avoir à mettre en route son appareil de T. S. F. pour la remise à l'heure spéciale.

M. REYNAUD-BONIN. — C'est une idée intéressante pourvu que le signe émis ne soit pas un signal qui avantage uniquement le système d'un constructeur donné. Si le signal horaire émis peut s'accommoder de divers systèmes de remise à l'heure, je crois que l'idée est intéressante.

UN INGÉNIEUR DES ATELIERS BRILLIÉ FRÈRES. — Le système préconisé par M. LAVET pourrait être appliqué par tous les constructeurs, son principe étant dans le domaine public depuis plusieurs années.

Quand les ateliers Brillié ont étudié cette question, nous avions envisagé plusieurs solutions. Celle que nous exploitons nous a paru simple et sûre, mais nous en avions imaginé d'autres et en particulier nous avions pensé à employer les phénomènes de résonance et nous avions déposé un brevet basé sur ce principe.

Digitized by Google

Comme résonateur mécanique, nous utilisions l'équipage mobile d'un voltmètre ou d'un milliampèremètre auquel nous donnions la période des signaux de T. S. F. au moyen d'une petite masselotte fixée sur l'aiguille. A cette époque, les signaux horaires de la Tour Eiffel se terminaient à chaque minute ronde par une série de trois traits d'une seconde séparés par des intervalles d'une seconde. Ces signaux remplissaient la condition précisée par M. LAVET, d'être suffisamment longs et d'apporter à chaque oscillation une quantité d'énergie importante.

Le résonateur mécanique était commandé par un relais quelconque, et nous avions également utilisé un relais microphonique, sur le conseil de notre regretté camarade GUERITOT. Sous l'influence de signaux quelconques notre résonateur oscillait faiblement, sa période propre de deux secondes était relativement grande.

Au contraire, pour les trois traits envoyés par la Tour Eiffel, on obtenait une résonance marquée et, pour le dernier trait, une amplitude assez grande pour venir toucher un contact et provoquer la remise à l'heure par un moyen connu.

Nous avions prévu d'autres dispositions accessoires : en particulier dès que le contact de remise à l'heure se fermait, une dérivation de courant dans le résonateur bloquait ce contact et dès que la remise à l'heure était faite, toutes les fonctions revenaient au repos jusqu'à la remise à l'heure suivante.

Les signaux que nous utilisions sont actuellement supprimés et remplacés depuis le congrès de Cambridge par une série de six points, mais la même solution pourrait être appliquée avec un oscillateur analogue.

L'inconvénient de tous les systèmes automatiques de remise à l'heure par T. S. F. est que ces appareils, abandonnés à eux-mêmes, peuvent avoir des ratés et provoquer parfois des remises à l'heure intempestives. Aussi, préférons-nous réaliser, non pas une remise à l'heure brusque des aiguilles, mais une correction lente de la pendule en agissant sur le réglage de cette pendule. Dans le cas de nos pendules électriques, nous agissons sur l'aimant fixé au balancier au moyen d'une bobine de réglage dont les spires sont horizontales et dont l'action, suivant le sens du courant, s'ajoute ou se retranche à celle de la pesanteur.

On peut ainsi faire avancer ou retarder la pendule et chercher à la régler.

Ce réglage est obtenu automatiquement par nos appareils qui en-

Digitized by Google

voient en permanence dans la bobine de réglage un faible courant de sens et d'intensité voulus. Un fonctionnement défectueux des appareils de T. S. F. ne présente plus d'inconvénients graves, la correction journalière étant toujours faible.

Mais le problème dont nous a parlé M. LAVET ne paraît pas être la recherche d'une remise à l'heure à la seconde près, mais plutôt la mise à la disposition des auditeurs de Radio-concerts d'un moyen simple de remettre à l'heure leur pendule en utilisant les indications données au cours de ces concerts.

Il n'est peut-être pas nécessaire dans ce cas d'avoir recours à une remise à l'heure entièrement automatique et les amateurs de T. S. F. pourraient se contenter d'une remise à l'heure par un simple bouton ramenant électriquement les aiguilles sur une minute ronde.

Comme une pendule de précision moyenne ne varie que de quelques secondes par jour, en faisant cette remise à l'heure toutes les semaines ou toutes les deux semaines, cela pourrait suffire largement pour les besoins de la vie courante.

Digitized by Google

Séance du Samedi 29 Octobre 1927

6e SECTION

RECHERCHES PHYSIQUES. — PHYSIOLOGIE. — APPAREILS DE MESURE.

Sommaire

1° Présentation du rapport de MM. Janet et Bunet sur les machines à courant continu avec ou sans collecteur, p. 405. — Discussion. — M. Iliovici, M. le Président, M. Bunet : variation du flux dans une dynamo unipolaire, p. 418. — M. Iliovici, M. le Président, M. Pomey : cas où peut s'appliquer la formule $\mathcal{E} = lv$, p. 419 — M. Gratzmuller, M. le Président : Expression de la force électromotrice d'une machine unipolaire par la dérivée du flux ; rôle des contacts glissants ; définition du nombre de spires d'une courbe fermée entourant une autre courbe fermée, p. 421. — M. Pomey : rappel de la surface de Vaschy, p. 424. — M. Bunet : réponse à M. Iliovici, p. 425. — M. Girault, M. le Président ; avantages de l'application de la formule $\frac{d\Phi}{dt}$; représentation de la variation des lignes d'induction avec les variations de la source d'induction, p. 426. — M. Pomey : variations du flux dans le temps et dans l'espace, p. 427.

2° Discussion du rapport de M. Iliovici sur l'erreur introduite par les transformateurs dans la mesure d'une puissance et d'une énergie, p. 429. — M. Genkin : critique de l'emploi par M. Iliovici des coordonnées symétriques, p. 429. — M. Iliovici : réponse, p. 430.

3° Discussion du rapport de M. Lemenand sur la détermination des densités de courant admissibles en raison des échauffements dans les conducteurs isolés au caoutchouc, p. 431. — M. Lebaupin : observations sur les méthodes de vieillissement du caoutchouc, p. 431. — M. Pascal : observations sur le temps nécessaire pour amener un câble isolé à sa température d'équilibre ; essais de vieillissement exécutés par la Société Industrielle des Téléphones, p. 432. — M. Lebaupin : exposé du point de vue des usagers sur le vieillissement, p. 434.

Président : M. Liénard

Ingénieur général des Mines,
Sous-Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines.

M. le Président. — L'ordre du jour appelle la communication de MM. Janet et Bunet sur les *Machines à courant continu avec ou sans collecteur*. Je donne la parole à M. Bunet pour cette communication.

M. Bunet. — M. Janet a présenté cette année au Congrès international des physiciens tenu à Côme, une très intéressante communication ayant pour titre : « Sur les tentatives infructueuses faites par un grand nombre d'inventeurs pour réaliser une machine à courant continu sans collecteur » M. Janet aurait vivement désiré vous parler de

Digitized by Google

cette question et vous exposer lui-même les parties principales de cette communication. Il est malheureusement très pris en ce moment par l'installation de la nouvelle Ecole Supérieure d'Electricité et il regrette de ne pouvoir assister à cette séance. Il m'a demandé de vous donner connaissance de son travail qui constitue du reste une excellente introduction à ce que je me propose de vous exposer ensuite.

Résumé de la communication de M. JANET *au Congrès International des Physiciens de Côme.* — Quoique l'on sache depuis longtemps qu'on ne peut mettre en série des conducteurs sans contacts glissants, en obtenant une tension continue, jamais les prétendues inventions de machines à courant continu à enroulements en série et sans collecteur n'ont été aussi abondantes que dans ces dernières années...

Une des idées les plus fréquemment proposées consiste à alimenter les inducteurs d'un alternateur ordinaire par un courant alternatif ayant pour demi-période le temps employé par un pôle de l'inducteur pour venir prendre la place du suivant; ainsi, d'après les inventeurs, c'est toujours un pôle de même nom qui se présente devant la même bobine et par suite la force électromotrice induite dans cette bobine a toujours le même sens ; il n'y a alors aucune difficulté à mettre ces bobines en série. Les inventeurs ne font pas attention qu'au moment où le courant change de sens dans les inducteurs mobiles, le coefficient d'induction mutuelle de ces inducteurs et des bobines induites est maximum et que, par conséquent, il prend naissance dans ces bobines une force électromotrice précisément de sens inverse à celle qui est produite par le mouvement des pôles.

Une autre solution proposée par certains inventeurs, consiste à avoir recours à un type d'inducteur analogue à celui que l'on emploie dans les alternateurs à fer tournant. Une même bobine magnétisante produit d'un côté une couronne de pôles nord, de l'autre une couronne de pôles sud. Les deux tournent en sens contraire, et entre elles est une armature fixe portant un enroulement induit. Cet induit peut être cylindrique ou en disque. L'erreur provient ici de ce que l'on ne se trouve pas dans le cas des machines ordinaires dans lesquelles le circuit magnétique a une forme invariable.

Ici les pôles de nom contraire marchent en sens inverse, les lignes de force qui vont d'un pôle nord à un pôle sud s'allongent d'un côté, se raccourcissent de l'autre ; il y a forcément des positions dont les inventeurs ne tiennent pas compte, où les lignes de force existant entre deux pôles qui s'éloignent se déplacent rapidement pour se re-

Digitized by Google

former entre deux pôles qui se rapprochent, balayant alors les conducteurs induits de telle sorte qu'il se produit une force électromotrice égale et de sens contraire à celle produite par le mouvement des pôles.

Une des erreurs les plus fréquemment commises consiste à croire que, par certains artifices, on peut produire l'entraînement des lignes de force alors qu'elles sont fixes dans l'espace.

Une autre source d'erreur est une fausse interprétation des propriétés des écrans magnétiques. On sait que, dans l'enseignement élémentaire, on présente souvent la théorie de l'anneau-gramme de la façon suivante : les conducteurs extérieurs, coupant les lignes de force, sont seuls le siège d'une force électromotrice et, pour cette raison, sont dits *actifs ;* les conducteurs intérieurs, se déplaçant dans un champ magnétique nul, puisque tout le flux passe par le fer, ne sont le siège d'aucune force électromotrice, et sont par suite appelés *inactifs*. Les inventeurs, qui n'ont pas suffisamment réfléchi sur ces questions délicates, généralisent à tort ces propriétés et en concluent immédiatement qu'il suffit de protéger un conducteur par un écran magnétique pour le soustraire à toute action inductive. La question de ces écrans a été complètement élucidée dans la curieuse controverse qui, en 1896, a mis aux prises deux savants éminents, POTIER et Marcel DEPREZ (1).

L'expérience consiste à faire tourner un fil dans un plan perpendiculaire aux lignes de force d'un champ magnétique et à mesurer la force électromotrice induite dans ce fil successivement nu ou protégé par un épais tube de fer : on trouve exactement la même force électromotrice dans les deux cas. Certains inventeurs croient encore qu'elle est nulle ou à peu près quand le conducteur est protégé. L'erreur consiste à considérer comme inactifs des conducteurs qui ne le sont pas, leur analogie à ceux de la partie interne d'un anneau-gramme n'étant qu'apparente. Plusieurs de ces solutions malheureuses sont exposées. Une autre catégorie assez curieuse de machines de ce genre est celle où l'inventeur s'imagine qu'il pourra, par l'emploi de contacts magnétiques glissants, protéger les conducteurs de liaison contre la production d'une force électromotrice équilibrant celle qui est induite dans les conducteurs actifs.

M. JANET termine par cette remarque : la plupart des résultats précédents sont à peu près évidents si, au lieu d'avoir recours à la consi-

(1) *C. R. Acad. Sc.*, 1896, t. CXXII, p. 1027, 1085, 1159, 1239, 1295.

Digitized by Google

dération des lignes de force coupées, on considère le flux embrassé : dans tous ces projets de machines, le flux est toujours constant ou fonction périodique du temps, et par suite la force électromotrice induite est forcément nulle ou alternative. Si, au cours de cet exposé, j'ai employé de préférence le raisonnement par les lignes de force coupées, c'est que mon expérience m'a montré que les inventeurs emploient très généralement ce langage et ne sont nullement convaincus que les deux modes de raisonnement doivent amener au même résultat.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. BUNET de nous avoir donné communication de la note de M. JANET. Il est toujours très intéressant d'avoir des exemples des erreurs commises, de façon à éviter d'y retomber, c'est une économie de temps considérable.

M. BUNET. — 1° Cette collection de machines, espoirs d'inventeurs pensant nous débarrasser du collecteur dans la génération du courant continu, machines qui n'ont rien donné ou tout au moins pas de courant continu, nous montre que la question existe encore. Il n'est donc pas inutile, peut-être, quoiqu'elle puisse paraître bien antique et, que beaucoup d'entre vous considèrent probablement que tout a été écrit à son sujet, d'y revenir quelquefois.

Dès qu'on aborde la notion de conducteur élémentaire, de conducteur sans circuit de fermeture, de fraction de conducteur ou de spire, il y a lieu de faire la plus grande attention ; l'erreur ou tout au moins l'indécision guettent à chaque pas ceux qui s'engagent dans cette voie.

N'avons-nous pas vu récemment discuter des questions de cette nature au sujet des idées émises par HERING et son école à la réfutation desquelles a efficacement contribué le président de cette section? Mais restons plus spécialement avec la dynamo à courant continu.

2° On trouve souvent la notion de force électromotrice développée dans un conducteur isolé, élémentaire ou fini, opposé apparemment à la conception de la f. é. m. induite dans un circuit fermé où varie un flux. Ainsi nous relevons dans un ouvrage : un premier chapitre « Induction produite dans un conducteur rectiligne se déplaçant dans un champ magnétique », puis un second chapitre « Induction dans un circuit fermé » sans raccordement net entre eux. L'élève, le simple praticien sans instruction théorique assez forte, sont ainsi portés à croire qu'il y a deux sortes de machines, celles dans lesquelles

Digitized by Google

on fait varier le flux d'une spire, celles dans lesquelles on déplace un conducteur droit dans un champ. Nous savons tous bien que ces deux manières de voir reviennent au même, à condition de ne pas se tromper en les appliquant : mais beaucoup d'entre nous, sinon tous, pensent comme M. JANET que la considération de flux embrassé est préférable si l'on veut éviter ces erreurs.

Il y a autre chose en faveur de la formule $\frac{d\Phi}{dt}$ c'est (au moins c'est mon avis), qu'elle est bien démontrée, incontestablement, par des expériences de toute nature. La formule en B*lv* au contraire n'a jamais été vérifiée ; on peut dire qu'elle est fausse sans être rejetée au rang des ignorants, en trouvant tout au plus des contradicteurs qui soutiendront qu'elle est exacte. La discussion serait-elle sans issue définitive?

Tout d'abord une des objections que l'on a faite quelquefois à la formule en $\frac{d\Phi}{dt}$, c'est qu'elle n'explique pas ou explique mal l'obtention de la f. é. m. d'une machine, (de celles qui en donnent réellement) et que, même pour la dynamo ordinaire à collecteur, le raisonnement est pénible. Il suffit de se reporter à un bon ouvrage, comme celui de M. JANET, pour se convaincre qu'avec $\frac{d\Phi}{dt}$, on n'a dans ce dernier cas, aucune difficulté même dans le cas de variations non sinusoïdales.

3° Si nous passons aux machines dites unipolaires ou homopolaires, quelquefois encore acycliques, on dit quelquefois que $\frac{d\Phi}{dt}$ est spécialement inapplicable, qu'il n'y a pas de variation apparente, que si $U = \frac{d\Phi}{dt}$ devient constant, c'est que Φ croît indéfiniment.

Examinons sur un exemple défini comment on peut se servir de $\frac{d\Phi}{dt}$, en renonçant à toute autre définition du flux que celle dont on a l'usage dans la pratique de la construction des machines électriques, c'est-à-dire le produit d'une induction par une surface ordinaire. Prenons, pour choisir, la machine qui représente les puissances les plus grandes que l'on ait réalisées, celle en cage d'écureuil (fig. 1). Schématiquement, le champ est radial, la partie tournante en cage d'écureuil possède deux prolongements P magnétiques. Des balais appuient sur les bagues de la cage.

Avec B*lv* cela va tout seul. Pour appliquer $\frac{d\Phi}{dt}$ le raisonnement à faire est évidemment plus long. Considérons une seule barre AA_1 dans

Digitized by Google

la position indiquée au début pour $t = 0$, cette position correspondant également à celles qu'occupent deux balais, un sur chaque bague. A l'extérieur les balais sont fermés en complétant un circuit général

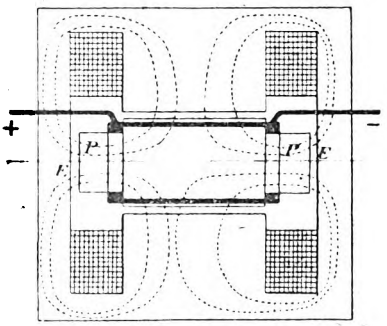


Fig. 1. — Machine unipolaire en cage d'écureuil.

dont une partie embrasse un flux dans notre machine. Quand la barre se déplace, allant en BB_1 (fig. 2), le flux augmente régulièrement avec $\frac{d\Phi}{dt}$ constante $= Blv$ jusqu'à ce qu'on ait fait un tour ; puis revenu en AA_1 on peut tout aussi bien considérer le flux nul ou maximum

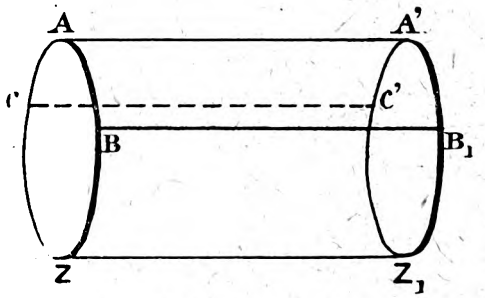


Fig. 2. — Induit à une seule barre.

sans rien changer, puisque la spire n'existe plus, repartir pour le second tour, etc... On peut aussi déplacer AA_1 jusqu'en ZZ_1 ou un demi-tour. Ensuite, on passera à l'examen de circuits tels que AA_1CC_1 où le flux diminue ; les forces électromotrices dans le circuit AA_1 (extérieur), BB_1 (intérieur) et AA_1 (extérieur), CC_1 (intérieur), sont alors de sens inverse comme l'indique la figure 3 et le courant reste de même sens en AA_1, c'est-à-dire qu'on obtient du courant continu.

Cette exposition permet de considérer un flux traversant une spire qui croît, atteint un maximum, décroît, etc... comme dans une ma-

Digitized by Google

chine à flux ondulé. L'explication donnée pour une barre, on remarquera que si on a plusieurs barres, chacune donnera lieu à une f. é. m. égale, on peut donc les mettre en parallèle, puis mettre plusieurs balais par bague, etc... On trouverait aisément d'ailleurs d'autres explications analogues en insistant plus ou moins sur tel ou tel point, selon l'auditoire.

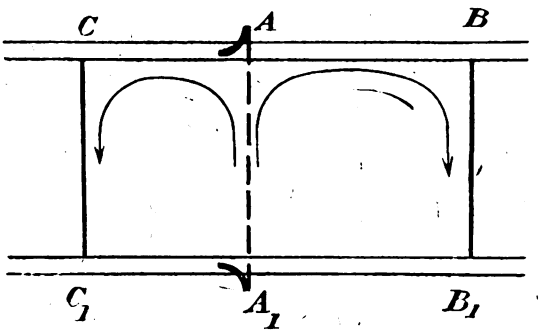


Fig. 3. — Induit développé.

Notons un point intéressant : il est impossible de faire de tels raisonnements si on n'introduit pas de balais ou contacts glissants; nous voyons ainsi poindre une divergence entre $\frac{d\Phi}{dt}$ et B*lv*, car cette dernière formule est généralement présentée sans tenir compte du mode de captage du courant.

On explique de même par $\frac{d\Phi}{dt}$ toutes les machines de même espèce, toutes les expériences de Faraday, d'Ampère, de Jamin, toutes rotations d'aimant qu'on trouve dans les traités de physique. Il y a toujours aussi des contacts glissants ou bien du mercure qui joue le même rôle. Un raisonnement du genre de celui ci-dessus est toujours applicable.

4° Disons quelques mots de réalisations pratiques de ces machines en résumant les difficultés rencontrées qui se tiennent par certains points avec ce qui précède et ce qui suivra.

Autrefois, du temps des vitesses prudentes et des petites machines, on ne pouvait envisager que de basses tensions. Avec la construction moderne, on peut aller beaucoup plus loin et aux Etats-Unis, on avait entrepris la construction de machines de forte puissance 1 000, 2 000 kW et au delà, à 500 ou 600 V pour la traction, en les liant à des turbines à vapeur. Le problème reste toujours difficile

Digitized by Google

électriquement et mécaniquement et on y a renoncé rapidement. Prenons un exemple entre autres. Supposons des barres de cage d'écureuil de 1 m de longueur, une vitesse de 150 m : s et une induction dans l'entrefer de 16 000 gauss. La tension sera, d'après Blv qui donne le même résultat que $\frac{d\Phi}{dt}$ nous le savons :

$$16000.100.15000\ 10^{-8} = 240\ \text{V}.$$

En disposant deux systèmes de cages d'écureuil isolées et mises en série, soit deux bagues à chaque extrémité, on obtiendra le double, vers 500 V. Supposons une vitesse angulaire de 1 800 t : mn, ou 30 t : s, la circonférence de l'induit sera 5 m et le diamètre 160 cm environ.

Le flux total sera $500 \times 100 \times 16\,000 = 800.10^6$.

La moitié doit passer par chaque pièce P de la fig. 1. Avec une induction de 22 700 gauss, ce qui exige d'excellent fer, il faut une section de 17 600 cm^2, soit 150 cm de diamètre.

Les bagues qui doivent être montées sur les pièces P, sont donc à la périphérie de l'induit et il faut recueillir le courant par des balais frottant à une vitesse à peu près égale à celle de l'induit, 150 m : s dans notre cas.

Si notre machine donne 4 000 A, soit 2 000 kW, il y a au total 8 000 ampères-barres périphériques, ou 8 000 : 500 = 16 ampères-barres par cm, tandis qu'une dynamo ordinaire à collecteur, assez poussée, aura 300 à 400 ampères-barres par cm ou davantage. L'induit de la machine unipolaire serait donc beaucoup moins bien utilisé, donc bien plus lourd, car ce qui manque en cuivre doit être compensé par l'accroissement du fer.

Rien n'empêcherait de pousser le nombre d'ampères-barres par cm en faisant une machine plus puissante, ou de tension plus faible, en réduisant alors sa longueur, mais comment capter le courant? Avec 300 ampères-tours par cm, on aurait avec notre exemple 150 000 ampères ; comment avoir satisfaction avec des bagues recueillant ces énormes courants à une énorme vitesse?

Les bagues tournent dans des champs appréciables et sont le siège de courants parasites d'autant plus à redouter qu'elles sont plus volumineuses.

Les entrefers E entre les pièces P et la partie fixe constituent aussi des machines unipolaires toutes préparées pour des courants parasites ; le feuilletage les évitant est fort difficile à réaliser à cause du changement de direction des lignes de force.

Digitized by Google

On a dit quelquefois que ces machines ont beaucoup de réaction d'induit ; on a dit aussi, récemment même, qu'elles n'ont pas de réaction d'induit. En fait, il existe comme dans toute machine mettant en jeu un couple, une distorsion de flux, ou des ampères-tours induits qui créeraient, s'ils étaient seuls, un flux dont les lignes de force seraient normales à celles du flux principal de la machine dans la région d'induction. Dans notre cas, la couronne du stator (fig. 4) aura d'abord des lignes radiales déterminées par les bobines inductrices.

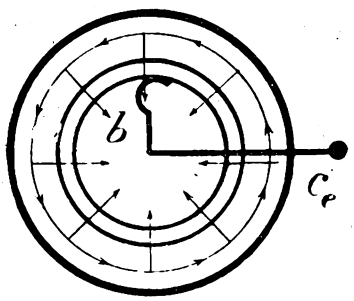


Fig. 4. — Réaction d'induit.

La fermeture du circuit extérieur projeté en C entre les balais *b* donnera un flux circulaire normal au premier. Le flux de réaction ne fera baisser l'autre que par suite de la saturation comme dans une machine ordinaire. Ici, la réaction d'induit s'exerce sur cette couronne de fer, sans entrefer, avec autant d'ampères-tours que la machine débite d'ampères.

On peut d'ailleurs détruire cette distorsion résultant de la combinaison de ces deux systèmes d'ampères-tours, induits et inducteurs, en créant une distorsion inductrice inverse du premier et proportionnelle comme lui au débit. Cela s'obtient en plaçant une cage d'écureuil à la périphérie du stator reproduisant les barres de l'induit, parcourue en sens inverse comme le courant ; c'est encore la même disposition que dans les dynamos ordinaires du type compensé.

Au lieu de faire une machine de grande longueur comme dans le cas de la figure 1, on peut la dédoubler selon la figure 5 en se débarrassant des entrefers inutiles. Il y a d'ailleurs à cela divers inconvénients, notamment celui d'avoir à faire passer tout le flux en P au lieu de la moitié Les conducteurs XY passent par des trous dans la carcasse, ou si on le veut par une fente créant alors un petit entrefer.

On passe facilement de ce qui précède, avec les mêmes conclusions

Digitized by Google

générales, aux induits en forme de disques et à toutes autres formes. Ayant ainsi sous les yeux des exemples de réalisations, nous pouvons revenir aux côtés plus théoriques de la question.

5° Nous avons dit que $\frac{d\Phi}{dt}$ impose des contacts glissants ; Blv semble n'en pas parler. Nous avons alors, semble-t-il, un excellent moyen de trancher entre les deux. Prenons une de ces machines ; comme

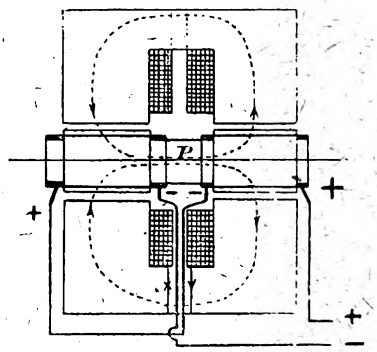


Fig. 5. — Machine à cage d'écureuil double.

il ne s'agit évidemment que de vitesses relatives, faisons tourner l'inducteur, $\frac{d\Phi}{dt}$ nous dit qu'il faut conserver des contacts glissants ; il faudra les rendre solidaires de l'inducteur, tournant avec lui ; nous recueillerons notre f. é. m. comme nous pourrons ou nous l'utiliserons dans un circuit tournant aussi ; c'est facile au moins théoriquement.

Au contraire, Blv ne nous dit rien des balais que cette formule paraît ignorer. Il paraîtrait suffire qu'il existât un mouvement relatif entre le champ et le conducteur et c'est tout. Nous ne mettrons donc pas de balais du tout en essayant de recueillir du courant continu entre nos bagues d'extrémité de cage d'écureuil devenues fixes, ce qui serait évidemment un perfectionnement énorme, si grand même que, puisqu'on y a sûrement pensé déjà on l'aurait fait. Si l'on n'a pas de f. é. m. dans ces conditions c'est que la formule Blv est fausse, ou tout au moins incomplète. Malheureusement, ce raisonnement pèche par la base.

Abandonnons $\frac{d\Phi}{dt}$ qui nous satisfait pleinement. Supposons que nous ne connaissons pas cette formule ; on nous a appris seulement

Digitized by Google

Blv sans parler des balais. Faisons notre expérience : en faisant tourner l'induit seul, si Blv est exact sans contacts mobiles, nous obtiendrons une f. é. m. dans les barres et une différence de potentiel entre les bagues fixes. Ces bagues sont là dans la machine, mais comment les atteindre pour faire notre mesure? On ne le peut sans disposer des conducteurs de jonction qui, ou bien seront accrochés et détruits par la rotation de la partie tournante, ou bien couperont à nouveau, en gagnant le centre pour sortir sur l'axe, le champ mobile, soit directement, soit dans des trous, ce qui revient au même comme l'a rappelé M. JANET. On crée alors, on le vérifie facilement, justement des f. é. m. égales et opposées à celles qui se développent dans les conducteurs de la cage. On obtient ainsi $U = 0$, ce que l'expérience confirme. Cela ne peut aider à décider entre les formules.

On peut chercher longtemps des combinaisons diverses de circuits de mesure, par électromètres, par voltmètres intérieurs, qu'on lirait par quelque ingénieux procédé, etc... sans arriver à une solution.

Avec une machine double, selon la figure 5, il est très facile de faire tourner l'inducteur avec le petit entrefer pour laisser passer X et Y, mais on voit aisément que les f. é. m. induites dans ces conducteurs fixes placés dans cet entrefer radial détruiront encore celles qui se produisent dans les barres. On peut tout aussi vainement examiner toutes les formes de machines unipolaires dont il a été parlé ou qu'on peut imaginer.

Ne saurons-nous donc jamais si une force électromotrice est induite dans le conducteur ne faisant pas spire qui n'aurait pas de contacts glissants? D'abord la question existe-t-elle? L'expérience étant irréalisable, ne peut-on dire que ce qu'elle donnerait, si on suppose qu'elle l'est, ne nous intéresse pas?

Il y a cependant peut-être un procédé qui permettrait de décider.

CURIE nous avait demandé de faire construire un appareil permettant de déplacer un conducteur dans un champ. Si les deux extrémités du conducteur sont des plateaux ou des sphères, soit deux parties ayant entre elles une capacité appréciable, si on a une f. é. m. du genre Blv dans ce circuit ouvert, on chargera le condensateur qui restera chargé pendant tout le temps que durera le mouvement dans le champ.

Cependant, dès que la charge sera opérée, il n'y aura aucun courant, même de déplacement, et le circuit peut bien être considéré comme ouvert. Supprimons le conducteur, pendant qu'il se déplace dans le champ, en le tranchant, en faisant agir quelques tubes coulis-

Digitized by Google

sants, en manœuvrant un interrupteur par des ondes de haute fréquence, en le détruisant par un explosif... ; arrêtons et voyons si le condensateur est chargé. L'appareil fut seulement projeté sur des plans d'ailleurs un peu vagues. Cette expérience ou des expériences analogues ont-elles été faites? Nous n'avons pu le déterminer. Leur résultat obtenu, et après observation des détails précis des conditions des expériences, ne trouverait-on pas encore des objections quant à la légitimité du procédé en ce qui concerne la condamnation ou le triomphe de Blv?

6° Au lieu de Blv, on applique quelquefois des règles dites pratiques qui en dérivent comme celle, bien connue, qu'on appelle des trois

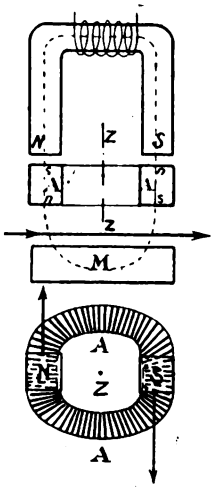


Fig. 6.
Machine paradoxale.

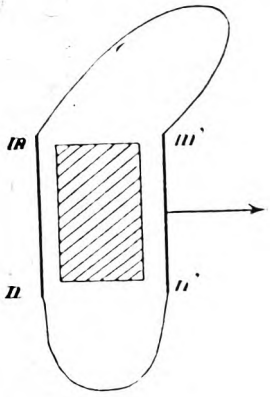


Fig. 7.
Circuit sortant d'un flux.

doigts ; elles sont encore plus dangereuses dans leur simplicité. Ainsi, voici une expérience que nous avons exécutée à la suite de discussions, il y a presque 30 ans, qui est assez voisine d'une de celles dont M. JANET signale l'apparition plus récente. Un électro-aimant (fig. 6) fixe se continue par des pièces polaires spéciales A et une armature M fixe. Un conducteur fixe traversé par du courant continu est dans l'entre-fer. La pièce AA est un anneau composé de tôles radiales légèrement séparées les unes des autres par un isolant non magnétique ; elle est mobile autour de l'axe Z. Les tôles en regard de N et S peuvent être considérées comme des aimants ; donc, avec la règle des trois doigts, l'un des deux systèmes présentant un pôle N au courant ira d'un

Digitized by Google

côté perpendiculairement au plan de la figure ; l'autre présentant un pôle S au même courant ira en sens inverse, d'où un mouvement autour de Z. D'autres tôles venant toujours remplacer celles qui s'en vont, la rotation sera continue. Réciproquement, en faisant tourner A, on obtient un générateur de courant continu, rien qu'en changeant de main, et on obtient une machine sans collecteur, sans balais, de tension aussi élevée qu'on le désire puisqu'on peut mettre plusieurs conducteurs et les disposer en série. Nous savons tous que ce raisonnement est absurde et qu'on n'obtient rien. Mais là, avec $\frac{d\Phi}{dt}$ l'explication est immédiate ; avec Blv on peut se fourvoyer plus facilement.

7° On enseigne que si un noyau aimanté envoie un flux dans une spire et qu'on déplace cette spire en la sortant du flux, on obtient une f. é. m. $\frac{d\Phi}{dt}$, mais d'autres préfèrent enseigner que la f. é. m. est localisée dans les parties mn, $m'n'$ du conducteur (fig. 7). Puis, à propos de transformateurs, ils enseignent que si on désaimante le noyau, on induit la f. é. m. dans la spire et non spécialement dans certaines parties, puisqu'on ne peut fixer lesquelles ; le noyau étant désaimanté, on peut le retirer sans que rien se passe. On a donc dans les deux cas, mouvement de la spire ou désaimantation du noyau, les mêmes états initialement et finalement et le même résultat comme quantité d'électricité induite. Ne déroute-t-on pas l'élève en appliquant deux méthodes d'explications qui présentent une certaine opposition apparente ?

Doit-on pour cela rejeter Blv et la conception de f. é. m. induites localement ? Non, probablement ; cette formule est commode pour ceux qui savent ; elle est rapide, les calculs sont vite faits ; mais en cas de doute, il est bon de toujours revenir au flux. C'est un ami fidèle qui ne peut tromper. On le voit encore dans les questions de coefficients d'induction ; certains, sans assez réfléchir, prennent par exemple l'inductance totale quand ils auraient dû introduire une inductance de fuites ; on évite de telles erreurs en revenant au flux total et examinant ses variations en renonçant, au moins jusqu'à ce qu'on soit sûr d'être dans la bonne voie, à une simplification du langage et des équations qui peut être trompeuse.

M. LE PRÉSIDENT. — Quelqu'un a-t-il des explications à demander ou des observations à présenter ?

Digitized by Google

M. ILIOVICI. — Je veux faire une remarque. M. BUNET semble trouver une difficulté à évaluer le flux dans le cas de ces machines. Ce n'est pas le flux, mais sa variation qui m'intéresse.

En supposant la forme circulaire, parce que je trouve que cela se voit mieux, il suffit de placer un balai sur l'axe, un autre à la périphérie, pour avoir une certaine force électromotrice.

Si j'ai bien compris, on devrait considérer un point fixe, sur un rayon fixe.

Quand le disque tourne, on a ses rayons qui varient ; ici c'est le flux qui passe à travers cette surface, et quand il arrive à l'autre extrémité, il y a un changement ; enfin la variation de flux, lorsque le rayon se déplace, est petite, et qu'on se trouve d'un côté ou de l'autre, la variation de flux est toujours la même, et je n'ai pas besoin de savoir quelle est l'origine de ce flux, je n'ai pas besoin de considérer ce cas particulier quand je suis sur un côté ou sur l'autre.

M. BUNET. — Il y a quelque chose à expliquer dans ce que vous dites. Vous dites : φ est toujours dans le même sens, donc vous allez avoir φ tendant vers l'infini.

M. ILIOVICI. — φ croît effectivement vers l'infini, mais cela ne dérange pas, parce que quand je pars de C, je fais un tour complet. J'ai une surface, la surface du disque, et quand je recommence, je continue, et par conséquent, le flux total à considérer peut tendre vers l'infini, cela ne me gêne pas du tout.

M. BUNET. — Moi cela me gêne beaucoup, j'ai l'habitude de faire des machines et φ est pour les praticiens de la construction un nombre tel qu'en le divisant par la section qu'il traverse comme on entend le mot section dans la pratique, ils ont l'induction.

M. ILIOVICI. — M. BUNET semble trouver une difficulté à définir le flux dans les dynamos unipolaires ; il me semble pourtant que la variation du flux intervenant seule dans la valeur de la f. é. m. on peut, si on tient à parler du flux lui-même, prendre à chaque instant le flux à travers une surface comprise entre la génératrice active et une génératrice quelconque. On peut toujours choisir cette dernière de façon que la surface soit bien définie.

Considérons le cas d'un disque, qui est plus facile à représenter. Pour recueillir le courant, on place un balais sur l'axe et un à la périphérie : la f. é. m. utilisée est celle qui se produit dans le rayon qui passe par les contacts des deux balais. Si le disque tourne, le rayon utile change de position par rapport au disque et c'est le flux $d\varphi$ dans

Digitized by Google

la surface balayée par ce rayon pendant le temps dt qui intervient dans la formule de la f. é. m.

Dans ces conditions, le flux φ, dont $d\varphi$ est la variation, peut être pris à partir d'un rayon quelconque fixe par rapport au champ magnétique ; mais on peut choisir à chaque instant le rayon origine de façon que la surface traversée par φ soit inférieure à celle du disque.

M. POMEY. — L'énergie magnétique devient infinie.

M. ILIOVICI. — Ceci est une autre question, mais il me semble qu'il n'y a pas de difficulté non plus. Du moment que l'énergie croît, pourquoi ne tendrait-elle pas vers l'infini?

M. BUNET. — C'est qu'elle n'y tend pas.

M. ILIOVICI. — Je ne vois pas pourquoi; on admet que la surface traversée par le flux tend vers l'infini. En réalité, ce qui intéresse, c'est la variation de flux pendant un temps dt, le flux lui-même peut donc être défini à une constante près.

M. LE PRÉSIDENT. — Si vous le voulez bien, je vais donner quelques explications sur la manière dont je me représente les phénomènes.

Je crois qu'il n'y a pas de difficulté à opérer comme le fait M. ILIOVICI, mais personnellement, je préfère opérer comme suit :

Soit un rayon OB qui tourne en balayant un disque à partir d'un rayon origine OA. L'aire balayée est celle d'un secteur dont l'angle au centre est d'abord petit, puis dépasse 180° et enfin dépasse 360°. A partir de ce moment, l'aire balayée se recouvre elle-même partiellement et elle continue à croître indéfiniment en même temps que le flux coupé, si le disque est dans un champ uniforme. On obtient toujours l'induction en divisant le flux total par l'aire. Si l'on trouve un flux qui croît indéfiniment, c'est que l'on compte plusieurs fois l'aire du disque. Cela n'empêche pas que, au point de vue physique, le flux reste toujours fini.

On peut en dire autant pour l'énergie.

M. ILIOVICI. — Je désire faire une remarque concernant la formule $\mathcal{H}lv$. Cette formule est très commode et très employée, et il serait gênant de la supprimer. Il suffirait, à mon avis, qu'on indique nettement dans quels cas elle est exacte ou quelle est la valeur de $\mathcal{H}$ qu'on doit y introduire chaque fois.

Ainsi, dans le cas d'un conducteur placé dans un tube en fer, qu'il entraîne avec lui, le champ magnétique aux points où se trouve le conducteur est presque nul, mais ce champ est la résultante du champ

Digitized by Google

préexistant et de celui de sens contraire produit par le tube. Si on suppose le conducteur et le tube mobiles par rapport au champ préexistant, il suffit d'admettre que le tube entraîne son propre champ ; les lignes de force de celui-ci ne sont donc pas coupées par le conducteur et n'interviennent pas dans la production de la f. é. m.

Le champ $\mathcal{H}$ à faire intervenir dans la formule $\mathcal{H}lv$ serait le champ préexistant ou celui qui se trouve en dehors du tube en un point approprié. Il en sera de même si le conducteur est placé dans une encoche non complètement fermée.

Ce raisonnement n'est pas rigoureux, mais il suffit pour attirer l'attention sur les cas où la formule $\mathcal{H}lv$ doit être appliquée avec prudence : ce sont pratiquement les cas où le conducteur entraîne avec lui un milieu magnétique ayant des parois perpendiculaires ou obliques par rapport à la direction du mouvement.

Ainsi, dans les dynamos à induit lisse, on calcule la f. é. m. par conducteur en prenant pour $\mathcal{H}$ la valeur du champ à l'induit de celui-ci ; par contre, dans les dynamos à encoches ou à trous, c'est le champ dans l'entrefer qu'on prend et non celui dans l'encoche.

M. LE PRÉSIDENT. — Il y a une difficulté à appliquer la méthode de M. ILIOVICI dans le cas où le courant qui produit le champ n'est pas constant.

Qu'appellerez-vous champ entraîné dans ce cas ?

On peut bien en donner une définition au point de vue analytique, mais il y en a plusieurs possibles et le choix est arbitraire.

M. ILIOVICI. — On n'applique pas $\mathcal{H}lv$ dans ce cas, on l'applique seulement dans le cas du conducteur entraîné.

M. POMEY. — Il s'est produit un changement dans les idées. Autrefois, quand un conducteur parcouru par un courant se déplaçait dans un champ magnétique, on pensait que la force mécanique agissant sur le courant était appliquée à la matière support du courant. Mais maintenant, adoptant les idées de LORENTZ, on croit que la force est appliquée directement aux électrons et qu'elle se transmet à la matière entre les mailles de laquelle se meut le flux d'électrons, par une liaison dont la nature n'est pas encore élucidée bien complètement, de sorte que le mystère subsiste ; on peut dire seulement qu'il a reculé.

M. GRATZMULLER. — Je m'excuse de ne pas être préparé à discuter,

Digitized by Google

mais sur l'invitation de M. le Président je vais cependant essayer de dire quelques mots.

Dans le calcul de la force électromotrice des machines fixes ou mobiles, on exprime tantôt la f. é. m. induite dans un circuit par la dérivée par rapport au temps du flux, à travers ce circuit tantôt par la dérivée par rapport au temps du flux balayé par les conducteurs mobiles, mais pour qu'il y ait flux balayé, il faut qu'il y ait déplacement des circuits conducteurs dans le champ.

Dans les machines fixes, un transformateur statique, par exemple, les conducteurs ne balayent aucun flux.

Dans la machine unipolaire, quel que soit son mode de réalisation, on calcule la force électromotrice par la dérivée par rapport au temps du flux balayé.

Il importe d'essayer de montrer que les deux modes de calcul ne sont pas contradictoires et que le premier peut toujours être appliqué.

C'est en somme, ce que se sont efforcés de faire les différents orateurs.

Je me permets d'esquisser sommairement au sujet de la dynamo unipolaire une manière de voir permettant d'exprimer la f. é. m. par la dérivée du flux par rapport au temps.

Elle fait intervenir un contact glissant introduisant une résistance variable, jouant en même temps le rôle d'une connexion souple compatible avec un certain déplacement.

C'est en somme la même résistance variable que l'on rencontre dans les machines à collecteur à lames, de sorte que l'auto-excitation n'est possible qu'avec un collecteur à lames ou *à bagues* qui sont tous deux des contacts à résistance variable qui restituent continuellement les conditions du phénomène dans un temps très court.

Soit donc (fig. 8) un disque A tournant dans le sens de la flèche f, un champ $\mathcal{H}$, par exemple le champ terrestre, étant perpendiculaire au plan de la figure.

Soit a un balai fixe, frottant à la périphérie du disque et b le balai frottant sur l'arbre.

Supposons que le balai a, au lieu de frotter à la périphérie du disque, soit relié au point m du disque par une connexion souple am.

De même, supposons que le balai b soit relié au point n de l'arbre du disque par une connexion souple bn.

Alors, plus de difficulté pour exprimer la dérivée du flux φ à travers le circuit toujours fermé, formé par le conducteur extérieur aBb, ou par le courant de déplacement de Maxwell.

Digitized by Google

En négligeant le diamètre de l'arbre, la f. é. m. induite est manifestement en grandeur absolue, α étant le déplacement angulaire :

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{r^2 d\alpha}{2dt}\,\mathcal{H}.$$

C'est la formule classique, mais un lien souple casserait rapidement. Ce lien souple est constitué par l'espace ionisé entre les surfaces frottantes, il se restitue continuellement, il se coupe de lui-même si la distance entre les points m et a ou b et n devient trop grande.

Si la densité moyenne du courant sous balais est trop grande, c'est-à-dire l'ionisation exagérée, le courant peut même ne se couper

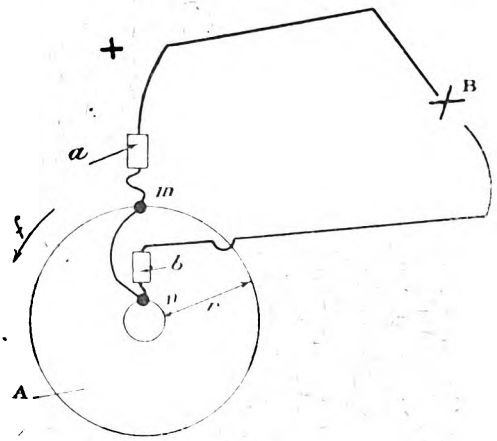


Fig 8.

que par une étincelle visible un peu en avant du balai dans le sens du mouvement de la périphérie du disque.

Maintenant que nous connaissons la différence de potentiel entre les balais a et b, on conçoit la possibilité de déterminer la répartition des courants dans le disque, c'est le même problème que celui de la répartition de la densité de courant dans une masse métallique sur laquelle appuient deux plaques conduisant le courant à l'entrée et à la sortie.

On appliquerait facilement les mêmes considérations aux différentes machines dites unipolaires invoquées par M. Bunet.

Je n'ai voulu qu'esquisser une manière de voir. Il y aurait beaucoup à dire, mais j'ai désiré montrer que toute machine à courant continu à lames ou à bagues est une machine à connexions variables où les balais ont un rôle de restitution continuelle, dans un temps très petit, des mêmes conditions de fonctionnement. L'expression de la force

Digitized by Google

électromotrice induite par la dérivée du flux à travers un circuit fermé est toujours applicable.

Le même raisonnement s'applique aux collecteurs à lames avec bobinage disposé dans les encoches.

Je reviendrai sur ces questions déjà examinées par M. JANET dans son cours d'électrotechnique et par CURIE.

Concernant les points de vue de MM. BUNET et ILIOVICI, intervient la nécessité de définir le nombre de spires entourant une ligne de champ magnétique ou plus généralement, au point de vue géométrique, le nombre de spires d'une courbe fermée A autour d'une courbe fermée P. La définition du nombre de spires paraît tout à fait élémentaire,

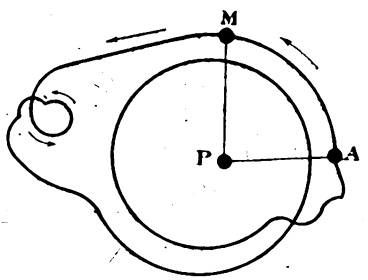


Fig. 9.

je crois qu'elle a souvent troublé les ingénieurs qui se sont battus avec des machines.

Voilà celle que nous proposons. Nous admettrons qu'un circuit de courant de conduction ou de déplacement est toujours fermé.

Dans un plan, la question se présente simplement.

Soit P (fig. 9) le point où la courbe P perce normalement le plan de la figure et AMA une courbe fermée dans le plan. Supposons un mobile cheminant toujours dans le même sens sur la courbe AM. Si l'angle APM varie de 0 à $(2k\pi)$, k étant un nombre entier, nous dirons que la courbe A fait k tours ou n spires autour de la courbe P. Bien entendu cela, supposons le plan P orienté.

Supposons maintenant les courbes A et P quelconques, nous ramènerons ce cas au précédent de la manière suivante.

Nous déformerons d'une manière continue la courbe A pour l'amener dans le plan normal à la courbe P au point P. Nous appellerons nombre de tours de la courbe A autour de la courbe P, le nombre de tours de la courbe A ainsi déformée, suivant la définition précédente.

Digitized by Google

Remarquons que pour appliquer les lois du circuit magnétique, il ne suffit pas de connaître le nombre de tours d'une ligne de courant autour d'une ligne de champ magnétique, il faut que celle-ci soit déterminée. Cette détermination est un autre problème.

Mais dans beaucoup de machines, les lignes de champ magnétique de plus grande induction magnétique ou de plus grand champ sont imposées par la présence du fer, ou par des conditions de symétries. De plus, la méthode Lehmann permet de les tracer approximativement dans certains cas.

M. LE PRÉSIDENT. — La règle générale demandée par M. GRATZMULLER pour évaluer le nombre de spires existe. Considérons une surface S limitée au circuit et sur laquelle on puisse considérer une face positive et une face négative. Comme le remarque H. POINCARÉ, il est toujours possible d'obtenir une telle surface : il suffit de considérer un cône ayant pour directrice le circuit linéaire et pour sommet un point quelconque en dehors du circuit.

On prend ensuite le nombre de rencontres de la ligne de force fermée avec la surface S, les rencontres étant considérées comme positives ou négatives suivant que la ligne de force traverse la surface S de la face négative à la face positive ou inversement.

M. POMEY. — Quand on cherche le flux embrassé par un circuit qui comprend le grand nombre de tours d'une bobine, on peut avoir quelque peine à se figurer la surface tendue sur ce circuit et que le flux traverse. VASCHY proposait, pour fixer les idées, d'imaginer la surface balayée par un rayon vecteur qui partant d'un point fixe O aboutit à un point M qui circule tout autour du circuit.

C'est le flux à travers la surface ainsi définie que l'on aurait à considérer.

Une ligne de force magnétique coupe cette surface en passant de la face négative à la face positive, un certain nombre de fois qui indique l'ordre de connexité.

M. GRATZMULLER. — Où cela a-t-il été publié ?

M. POMEY. — VASCHY nous expliquait cette théorie en 1881, à l'Ecole Supérieure des P. T. T. et je croyais que c'était connu de tout le monde. Ce qui concerne la connexité des surfaces et le nombre cyclomatique des lignes qui s'entourent l'une l'autre, se trouve d'ailleurs dans l'introduction du Traité de MAXWELL.

Digitized by Google

M. BUNET. — Je suis tout à fait d'accord avec ce qu'a dit M. ILIOVICI, parce que ce sont des considérations simples pour nous, mais n'oublions pas que nous sommes partis des inventeurs malheureux faisant des machines à courant continu qui ne donnent pas de courant. Il faut tâcher de les armer d'une manière pratique; il est difficile de dire à quelqu'un qui n'a pas notre instruction électrique qu'un flux tend vers l'infini. Il vaut mieux conserver que, dans une machine unipolaire, le flux se présente comme dans toute dynamo; ce ne peut être que le produit d'une section définie par l'induction. En ce qui me concerne, je ne vois aucune difficulté à admettre le flux infini si le temps le devient. Quant à la formule en Blv, M. ILIOVICI a dit que dans certains cas elle s'appliquait, et dans d'autres, non: Il est tout à fait dangereux d'avoir des formules qui s'appliquent dans un cas et pas dans l'autre. Il vaut mieux avoir une formule qui s'applique dans tous les cas.

M. ILIOVICI. — C'est une formule commode et simple, c'est pour cela que je la défends.

M. GIRAULT. — Comme beaucoup d'entre nous, j'ai eu l'occasion de rencontrer quelques inventeurs de machines à courant continu à tension élevée, sans commutateur, comportant en principe uniquement deux bagues collectrices.

Dans tous les cas rencontrés par moi, la loi $\frac{d\Phi}{dt}$ (de la variation du flux embrassé) constituait un critérium commode et immédiat pour l'examen de ces conceptions.

Pourquoi donc aller plus loin pratiquement et vouloir expliquer les choses par la formule Blv (des lignes d'induction coupées) ? C'est que les inventeurs de ces machines expliquent justement leur fonctionnement possible en se servant de cette dernière formule qui, mal appliquée, favorise leur thèse et ramènent opiniâtrement la discussion sur leur propre terrain; de même que les inventeurs du mouvement perpétuel ne veulent pas s'incliner devant le principe de la conservation d'énergie.

Mais il y a plus. Pour satisfaire entièrement l'esprit, il importe d'expliquer aussi par la formule Blv le cas du transformateur pour lequel il semble à première vue que la formule $\frac{d\Phi}{dt}$ s'applique seule.

Lorsque j'appartenais à la Société CAIL, mon chef de service, M. HELMER, imagina en 1893 une machine à courant continu sans

Digitized by Google

commutateur (Brevet Français, n° 228861 du 23 mars 1893), et me demanda mon avis sur les possibilités de son fonctionnement. Je me déclarai embarrassé, disant en substance : « En appliquant (mal bien entendu) la formule Blv, la machine doit marcher, tandis qu'en appliquant $\frac{d\Phi}{dt}$ elle ne doit donner aucune tension. Or, la loi $\frac{d\Phi}{dt}$ semble la seule générale puisqu'elle s'applique seule au cas des transformateurs »; je craignais donc un non fonctionnement qui se trouva réalisé.

La manière de voir que j'ai adoptée depuis, et qui n'a certainement rien d'original est la suivante :

En toute rigueur, il y a lieu de considérer les lignes d'induction comme liées aux masses électriques dont le déplacement les engendre.

Un courant quelconque étant établi dans un circuit se compose d'une série de tubes élémentaires de courant, le courant d'un tube étant constant dans toute la longueur de celui-ci.

A chaque valeur du courant dans le circuit électrique correspond une distribution de lignes d'induction, à la fois intérieure et extérieure au conducteur et due à l'ensemble des influences des divers tubes élémentaires de courant.

Pour un courant nul, il n'y a aucune ligne d'induction; pour le moindre courant, la distribution des lignes s'établit dans tout l'espace disponible; la cause de cette distribution est le courant dont le siège est le conducteur. D'après nos idées sur la propagation, toute ligne de force doit partir de la cause (du conducteur), les lignes dues à la dernière augmentation du courant poussant devant elles celles antérieurement sorties, les lignes supprimées du fait de la dernière diminution étant résorbées à partir des dernières sorties; et cela de telle façon que l'on obtienne dans les deux cas, avant et après la variation du courant, les deux distributions correspondant aux deux valeurs du courant.

Comme l'indiquait tout à l'heure M. Iliovici, il y a donc lieu de considérer l'ensemble des lignes d'induction comme liées à la source qui les produit, c'est-à-dire à la bobine magnétisante. Et chaque ligne d'induction doit être considérée comme insécable, les variations de densité des lignes tenant uniquement à une émanation ou à une résorption complémentaire du fait d'une variation, soit de la force magnétomotrice, soit de la réluctance.

Chaque augmentation élémentaire du flux produit est représentée par une bouffée élémentaire de lignes d'induction vers l'extérieur, à

Digitized by Google

laquelle contribue chaque tube élémentaire de courant du conducteur; inversement, chaque diminution élémentaire du flux est représentée par une résorption élémentaire de lignes d'induction vers et jusque dans l'intérieur du conducteur.

Cette sorte de représentation physique des phénomènes semble satisfaire l'esprit dans tous les cas, celui du transformateur y compris.

M. LE PRÉSIDENT. — Vous pouvez avoir une infinité de solutions.

Si dans les cas où il y a symétrie, il y a une solution qui s'impose à l'esprit, dans le cas où l'on considère un circuit quelconque, on a l'indétermination la plus complète sur la manière de fixer le déplacement des lignes de forces. C'est une conception mathématique et non physique.

M. POMEY. — La variation du flux embrassé par un circuit mobile dépend de deux éléments :

Le changement du champ, au cours du temps, en chaque point et le déplacement du circuit.

Il y a donc déplacement dans le temps et dans l'espace.

On considère deux positions infiniment voisines du circuit, qui passe de la position initiale à la position finale d'une façon continue.

Soit A le vecteur qui représente le champ en un point M et à l'époque t; il s'agit d'avoir la variation $\frac{\delta A}{\delta t}$ calculée en accompagnant la surface tendue sur le circuit, comme un diaphragme fictif.

On trouve que cette variation instantanée provient :

1° du changement du champ quand t varie de dt;

2° du nombre des éléments de divergence qui ont traversé la surface;

3° du flux coupé par le circuit.

Si ω est la vitesse avec laquelle se déplace un point du diaphragme, on a :

$$\frac{\delta A}{\delta t} = \frac{dA}{dt} + \omega d\omega A + rot(A\omega).$$

Les crochets indiquant un produit vectoriel dont on prend la divergence, c'est ce terme qui provient du flux à travers la surface latérale décrite par le circuit, c'est-à-dire du flux coupé.

M. LE PRÉSIDENT. — Ce que vient de nous dire M. POMEY est parfaitement exact mais ne correspond pas au problème que se pose M. GI-

Digitized by Google

RAULT et qui est d'arriver à exprimer la variation de flux en fonction de la vitesse relative des lignes d'induction et du conducteur. C'est là un problème qui a, non pas une solution, mais une infinité de solutions.

M. POMEY. — La formule se rapporte à des axes fixes. Si l'on suppose mobile le système de référence, on pourra modifier l'un ou l'autre de ces termes, la compensation se fera sur les autres. La variation dans le temps, pourra devenir une variation dans l'espace.

M. LE PRÉSIDENT. — A condition que le champ ne se déforme pas.

M. POMEY. — Il y a un très grand arbitraire dans l'explication des phénomènes. C'est ainsi que, dans le cas d'une simple bobine d'induction, quand il s'agit de se rendre compte de la force électromotrice de self induction produite par la variation du champ, les uns voient les lignes de force qui s'élargissent jusqu'à l'infini ou reviennent se concentrer dans le noyau et ils parleront de flux coupé par le circuit, les autres verront que la bobine est immobile et ils préféreront dire que le champ est variable dans le temps; ils n'envisageront que le terme $\frac{dA}{dt}$.

On arrive au même résultat. La décomposition d'une force électromotrice en plusieurs composantes est arbitraire.

En fait, la variation du flux peut provenir de ce qu'on a déplacé des aimants (variation dans l'espace) ou qu'il y a dans le voisinage des circuits fixes parcourus par des courants d'intensité variable (variation dans le temps).

C'est ainsi que la force électrique E est égale à la résultante de la force électromotrice d'induction $-\frac{dA}{dt}$ due au potentiel vecteur du courant total et du gradient du potentiel scalaire dû aux charges électriques. Suivant l'état de mouvement du système de référence, la part de l'une ou de l'autre de ces deux causes variera dans l'explication du phénomène d'induction.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, je crois qu'il ne faut pas allonger la discussion. Je remercie M. BUNET de son intéressante communication, il nous a donné quelques détails sur les machines à induction unipolaire et indiqué les difficultés rencontrées dans leur réalisation. Je suis très heureux que M. BUNET nous ait mis au courant de ces questions.

Digitized by Google

M. Iliovici présente son rapport sur *l'erreur introduite par les transformateurs dans la mesure d'une puissance et d'une énergie* (1).

M. Genkin. — Je demande la permission de présenter une remarque au sujet de la forme que M. Iliovici a choisie pour énoncer ses conclusions et que je crois susceptible de donner facilement lieu à une fausse interprétation des résultats. Ces derniers n'ont à mon avis aucun rapport avec les coordonnées symétriques et il me paraît qu'il n'est point besoin de faire appel à cette méthode pour aboutir à la formule de correction de l'auteur.

Comme il s'agit de la mesure de puissances dans un circuit polyphasé parfaitement équilibré, cela me paraît évident *à priori*. La démonstration en est d'ailleurs des plus faciles.

Soit un circuit polyphasé à « n » phases également chargées, le courant dans chaque phase étant I, la tension U et le facteur de puissance $\cos\varphi$.

La grandeur à mesurer est $P_a = n.U.I. \cos\varphi$.

Pour la déterminer on effectue n mesures avec n erreurs différentes.

En désignant par a, b, c, ..., les coefficients de correction applicables à chacune de « n » mesures, on peut écrire le résultat final sous la forme :

$$P'_a = aUI\cos\varphi + bUI\cos\varphi + cUI\cos\varphi + \dots$$

ou sous une forme identique suivante :

$$P'_a = \frac{a+b+c+\cdots}{n} nUI\cos\varphi = \frac{a+b+c+\cdots}{n} P_a$$

Ce résultat signifie que le coefficient de correction qu'il convient de considérer en polyphasé est simplement la moyenne de n corrections se rapportant à n mesures monophasées.

Or, la formule définitive figurant dans le rapport n'a pas à mon avis d'autre signification physique; elle s'obtient du reste de la précédente sans aucune difficulté en développant l'expression

$$\frac{a+b+c+\cdots}{n}.$$

Désignons par ε l'erreur dans le rapport d'un transformateur de courant et par φ son écart angulaire. Le facteur de correction dans la mesure de l'intensité de courant est évidemment

---

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens* d'octobre 1927, tome VII, 4e série, n° 74, p. 1311.

Digitized by Google

$$(1+\varepsilon)(\cos\varphi + j\sin\varphi) \quad \text{où} \quad j=\sqrt{-1}.$$

En admettant que ε et φ sont de grandeurs faibles, cette expression devient

$$1+\varepsilon+j\varphi.$$

De même le facteur de correction à introduire dans la mesure de tension à l'aide d'un transformateur avec un écart angulaire ψ et une erreur ν dans le rapport de transformation est dans les mêmes conditions

$$1+\nu+j\psi.$$

Il s'en suit que le facteur de correction à appliquer à chaque terme de l'expression de la puissance est formé du produit des deux expressions précédentes :

$$a=(1+\varepsilon+j\varphi)(1+\nu+j\psi)=1+\varepsilon+\nu+j(\varphi+\psi).$$

On en tire immédiatement le résultat cherché :

$$\frac{a+b+c+\cdots}{n}=1+\frac{\Sigma\varepsilon}{n}+\frac{\Sigma\nu}{n}+j\left(\frac{\Sigma\varphi}{n}+\frac{\Sigma\psi}{n}\right).$$

En portant cette valeur dans l'expression de la puissance et en remarquant que le produit scalaire jUI est égal à $-$ UI sin $\varphi = P_r$, on aboutit à la formule définitive figurant dans le rapport.

Cette démonstration ne fait aucun usage des coordonnées symétriques, et elle montre clairement que ces dernières ne jouent aucun rôle dans cette question.

M. ILIOVICI. — En présentant notre rapport nous avions pour but, d'une part de généraliser pour le cas d'une puissance complexe, la formule connue donnant l'erreur introduite par les transformateurs dans la mesure d'une puissance active d'un circuit monophasé, et d'autre part, de montrer que la formule obtenue s'applique aussi aux circuits polyphasés à condition qu'on donne aux coefficients des significations appropriées.

Nous avons employé, pour aboutir au résultat, la méthode qui nous a paru la plus convenable; M. GENKIN en préfère une autre.

La méthode de M. GENKIN paraît plus simple, mais ce n'est qu'une apparence, parce qu'il n'en indique que le principe; de plus la démonstration n'est valable que pour des montages particuliers des transformateurs.

Ainsi dans la mesure de la puissance active il faut que les transformateurs de courant soient montés dans les fils de ligne et les transfor-

Digitized by Google

mateurs de tension en étoile, ou que les premiers soient montés dans les trois phases du circuit et les derniers aux bornes de celles-ci.

Par contre notre démonstration est tout à fait générale.

M. GENKIN affirme qu'il n'était pas utile de faire intervenir les coordonnées symétriques, parce que les circuits primaires sont supposés équilibrés; mais on ne doit pas oublier que les transformateurs n'étant pas identiques, les tensions et les courants secondaires forment des systèmes non équilibrés. Dans ces systèmes apparaissent donc les composantes inverses et asymétriques qui seront en général des infiniment petits de premier ordre et on les retrouve dans les erreurs sur les tensions et sur les courants; tandis que les composantes correspondantes de la puissance secondaire sont des infiniment petits de second ordre au moins.

C'est grâce à cette circonstance favorable que dans l'erreur sur la puissance on ne doit s'occuper que de la composante directe de la puissance secondaire, ce qui nous a permis de généraliser facilement les résultats que nous avons obtenus en supposant les transformateurs identiques, et de montrer que la formule est indépendante du montage des transformateurs et de la méthode de mesure, pourvu que celle-ci soit valable au moins lorsque l'un des systèmes tensions ou courants est déséquilibré.

Ce qui précède justifie l'emploi des coordonnées symétriques.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie ces Messieurs, de la contribution qu'ils nous ont donnée; il est toujours intéressant de discuter une question, de voir qu'on peut arriver de plusieurs façons aux mêmes résultats, et de préciser les conditions d'emploi de telle ou telle formule.

Nous passerons à la troisième communication sur la *Détermination des densités de courant admissibles en raison des échauffements dans les conducteurs isolés au caoutchouc.*

Je donne la parole à M. LEMENAND pour l'exposé de cette question.

M. LEBAUPIN. — Il y a un certain nombre de méthodes de vieillissement, et celle adoptée est la plus simple. Cela ne veut pas dire que ce soit la meilleure. En ce qui me concerne, je suis persuadé qu'elle n'est pas suffisante; mais il faut attendre quelques mois, pour que les usagers aient pu faire des essais comparatifs avec les fabricants. En

Digitized by Google

tout cas, il est important que les usagers aient à leur disposition des méthodes simples. Il ne s'agit pas d'avoir des méthodes extrêmement précises, mais des méthodes qui permettent d'aller vite; celle-ci demande déjà plusieurs jours, eh bien ! les essais de câbles ne sont valables que s'ils sont faits dans les usines, il faut donc qu'on opère rapidement.

M. LE PRÉSIDENT. — Quelle méthode emploie-t-on ?

M. LEBAUPIN. — Il y en a d'autres qui permettent d'oxyder plus rapidement le caoutchouc; elles sont plus compliquées, car il est difficile d'obtenir toujours les mêmes conditions. En tous cas, la méthode est extrêmement importante pour la réception des câbles. Il est certain que dans mon cas, j'en ai déjà plusieurs.

M. GROSSELIN. — Il faut adopter le plus tôt possible une méthode.

UN MEMBRE. — Evidemment cela manquait dans le cahier des charges, la méthode d'allongement est importante également.

M. GROSSELIN. — Connaissez-vous l'appareil Cheneveau ?

LE MÊME MEMBRE. — J'en ai déjà entendu parler, mais je ne l'ai pas vu, je ne sais pas si les fabricants ont fait beaucoup d'essais, je crois que cela donne à peu près les mêmes indications que celles obtenues par les autres appareils.

M. PASCAL. — Pourriez-vous m'indiquer au bout de combien de temps les lectures ont été faites dans la détermination des échauffements de câbles.

M. LEMENAND. — La même température est assez longue à se produire, c'est une question importante, puisque dans la pratique il faut chercher le temps pendant lequel le conducteur est soumis à cette température maximum.

M. PASCAL. — Je n'ai pas relevé ces renseignements dans les documents, ils sont très intéressants.

Lorsqu'un courant de valeur déterminée, passe dans un câble, l'équilibre de température ne se produit qu'au bout d'un temps variable.

Pour des câbles armés, on a trouvé que cet équilibre de température s'établissait au bout de 6 heures et plus.

Pour les fils sous caoutchouc, posés dans les conditions de l'essai de M. LEMENAND, cet équilibre a été trouvé dans nos essais au bout de 4 heures. Ce renseignement est intéressant, car lorsqu'on procédera à l'étude du vieillissement, c'est-à-dire à la recherche de la tempéra-

Digitized by Google

ture à laquelle un câble peut être soumis pendant une période déterminée, il faudra faire état de ce renseignement.

Il ne faut pas perdre de vue que lorsque l'on soumet les câbles à une température un peu élevée, par fractions de temps d'application séparées par des périodes de repos, il se produit une altération moins grande de l'isolant que pour une application continue de même durée.

M. LEMENAND. — On a de basses températures avec des charges variables.

M. PASCAL. — Pour les essais de vieillissement, vous me permettrez de vous dire, qu'à notre Société, nous avons poursuivi durant près de vingt ans, des essais de vieillissement.

Nous avons pu contrôler des vieillissements naturels avec le vieillissement artificiel qui a été effectué, au cours d'études.

Cette vérification faite au bout de un, deux, trois ans, nous a permis de nous rendre compte de la valeur de nos essais de vieillissement artificiel.

Je crois que le Laboratoire central, s'il doit procéder à des essais de ce genre, ne pourra pas tirer de conclusions immédiates.

M. LE PRÉSIDENT. — Le meilleur moyen serait de publier cette méthode.

M. PASCAL. — Des essais peuvent être conduits de façons très différentes, en étuve, avec atmosphère d'acide carbonique, ou d'air chaud, etc...

Il serait utile que l'on se mette d'accord sur les méthodes adoptées.

L'Office des inventions a procédé à des recherches et a présenté à la dernière exposition de caoutchouc les résultats obtenus.

Mais de toute façon, nous ne sommes pas encore fixés d'une façon définitive sur la méthode à adopter et les résultats à atteindre qui doivent être définis pour chaque mélange de caoutchouc.

M. GROSSELIN. — Je crois que les travaux étrangers sur la question pourraient éclaircir beaucoup les recherches.

M. LEBAUPIN. — Les méthodes employées par les constructeurs, ne sont pas forcément celles utilisées par les usagers. Il y a intérêt pour vous, à connaître la valeur des procédés de fabrication que vous utilisez, de façon à pouvoir les conserver ou les modifier.

Vous avez intérêt à faire des essais comparatifs de vos différents modes de fabrication pour connaître la façon dont les câbles se comportent et dont ils se modifient en fonction du temps. Pour nous, usa-

Digitized by Google

gers, il nous suffit d'avoir la certitude que la conservation des câbles pourra être assurée pendant une longue période de temps, dix, quinze ou vingt ans.

Cette question doit donc également tout intéresser; mais ce qui est suffisant pour nous, ne le sera pas nécessairement pour les constructeurs.

M. PASCAL. — Je crois que nous avons, les uns et les autres, les mêmes intérêts et les méthodes peuvent être identiques.

M. LE PRÉSIDENT. — Pas forcément : si le constructeur doit procéder à des essais de même nature que ceux effectués par les usagers pour être certain que ses câbles satisferont aux conditions d'essais, il peut aussi avoir intérêt, pour améliorer sa fabrication, à effectuer d'autres essais.

M. PASCAL. — Je crois utile de vous signaler que nous avons effectué à notre Société des essais complémentaires d'échauffement sur des câbles dont la vente s'étend assez rapidement en ce moment et qui sont employés en Suisse, en Allemagne et en Alsace.

Ces câbles sont constitués par plusieurs fils assemblés et protégés par un ruban de métal agrafé.

Les essais d'échauffement effectués sur ce genre de câbles dans les mêmes conditions que ceux dont vous avez eu connaissance, nous ont permis de constater, qu'ils permettaient pour un même échauffement, une densité de courant légèrement plus élevée que celles de fils ordinairement placés, soit sous tubes, soit sous moulures.

Ce renseignement pourrait être intéressant à signaler à cette occasion.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. PASCAL.

M. GROSSELIN. — Je signale qu'il vient de paraître à Washington une étude très intéressante sur le vieillissement des caoutchoucs, qui donne la composition de chaque enveloppe de caoutchouc et les diverses méthodes adoptées pour obtenir le vieillissement. Elle peut servir de base à toute nouvelle étude sur la question.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. LEMENAND de sa communication.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Prix triennal George Montefiore

L'Association des Ingénieurs Electriciens sortis de l'Institut Electrotechnique George Montefiore, nous prie de publier l'information suivante :

ARTICLE I. — Un prix dont le montant est constitué par les intérêts accumulés d'un capital de 150 000 francs de rente belge à 3 pour cent, est décerné tous les trois ans, à la suite d'un concours international, au meilleur travail original présenté sur l'avancement scientifique et sur les progrès dans les applications techniques de l'électricité dans tous les domaines, à l'exclusion des ouvrages de vulgarisation ou de simple compilation.

ARTICLE II. — Le prix porte le nom de *Fondation George Montefiore.*

ARTICLE III. — Sont seuls admis au concours les travaux présentés pendant les trois années qui précèdent la réunion du jury. Ils doivent être rédigés en français ou en anglais et peuvent être imprimés ou manuscrits. Toutefois, les manuscrits doivent être dactylographiés et, dans tous les cas, le jury peut en décider l'impression.

ARTICLE IV. — Le jury est formé de dix ingénieurs électriciens, dont cinq belges et cinq étrangers, sous la présidence du professeur-directeur de l'Institut électrotechnique Montefiore, lequel est de droit un des délégués belges.

Sauf les exceptions stipulées par le fondateur, ceux-ci ne peuvent être choisis en dehors des porteurs du diplôme de l'Institut électrotechnique Montefiore.

ARTICLE V. — Par une majorité de quatre cinquièmes dans chacune des deux sections, étrangers et nationaux (lesquels doivent, à cet effet, voter séparément), le prix peut être exceptionnellement divisé.

Digitized by Google

A la même majorité le jury peut accorder un tiers du disponible, au maximum, pour une découverte capitale, à une personne n'ayant pas pris part au concours ou à un travail qui, sans rentrer complètement dans le programme, montre une idée neuve pouvant avoir des développements importants dans le domaine de l'électricité.

ARTICLE VII. — Les travaux dactylographiés peuvent être signés ou anonymes. Est réputé anonyme tout travail qui n'est pas revêtu de la signature lisible et de l'adresse complète de l'auteur.

Les travaux anonymes doivent porter une devise, répétée à l'extérieur d'un pli cacheté joint à l'envoi; à l'intérieur de ce pli, le nom, le prénom, la signature et le domicile de l'auteur seront écrits lisiblement.

ARTICLE VIII. — Tous les travaux qu'ils soient imprimés ou dactylographiés, sont à produire en douze exemplaires; ils doivent être adressés franco à M. le secrétaire- archiviste de la *Fondation George Montefiore*, à l'hôtel de l'Association, rue Saint-Gilles, 31, Liége (Belgique).

Le secrétaire-archiviste accuse réception des envois aux auteurs ou expéditeurs qui se font connaître.

ARTICLE IX. — Les travaux dont le jury a décidé l'impression sont publiés au *Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore*. De cette publication ne résulte pour les auteurs ni charge de frais ni ouverture à leur profit de droits quelconques. Il leur est néanmoins attribué, à titre gracieux, vingt-cinq tirés à part.

Pour cette publication, les textes anglais peuvent être traduits en français par les soins de l'Association.

Concours de 1929.

Le montant du prix à décerner est de vingt-neuf mille francs.

La date extrême pour la réception des travaux à soumettre au jury est fixée au 30 avril 1929.

Les travaux présentés porteront en tête du texte et d'une manière bien apparente la mention : « Travail soumis au concours de la Fondation George Montefiore, session de 1927-1929.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production et utilisation mécanique de l'électricité.

Niagara Power. History of the Niagara Falls Power Company, 1886-1918. — Evolution of its central Power station and Alternating Current system, by Edward Dean Adams. — Privately printed for The Niagara Falls Power Company, 1927, Niagara Falls, N V. ; 2 vol. reliés $28^{cm} \times 22^{cm}$, de XXII-451 et XIV-504 pages, avec nombreuses gravures et cartes hors texte et dans le texte. (Don de l'auteur).

La Houille blanche. L'Electrification des Chemins de fer du Midi et l'Essor économique de la région du Sud-Ouest. Numéro spécial de propagande publié par *Le Sud Ouest Economique*, sous le patronage de M. André Tardieu, Ministre des Travaux publics. — Bordeaux, Imprimerie Delmas, 1928 ; un vol. broché $27^{cm} \times 21^{cm}$, de 251 pages, avec aquarelles, dessins, photographies, figures, cartes et plans hors texte et dans le texte. (Don du « Sud-Ouest Economique »). Prix 22 francs franco.

Éclairage électrique.

Manuel de l'Eclairage et applications pratiques aux ateliers, magasins, habitations, voies publiques, etc .. par L.-D. Fourcault, Ingénieur-Conseil, Rédacteur en chef de l'Electricien, Eclairagiste E.S.E. — Paris, Dunod, 1928 ; un vol. broché $25^{cm} \times 19^{cm}$, de XIV-275 pages, avec 231 figures. (Don de l'éditeur).

Électrochimie. — Électrométallurgie. — Piles et accumulateurs.

Piles et accumulateurs électriques, par Lucien Jumau, Ingénieur-Conseil. — Paris, Librairie Armand Colin, 1928 ; un vol broché $17^{cm} \times 11^{cm}$, de 194 pages, avec 76 figures. Prix : 9 francs. (« Collection Armand Colin », section de Mécanique et Electricité industrielles, n° 55). — (Don de l'éditeur).

Transmission et distribution générale de l'électricité. Canalisations. — Appareillage général.

La transformation des courants électriques. — Procédés modernes de transformation du courant alternatif en courant continu, par F. Collin, Ingénieur E S.E. — Paris, Librairie de la Vie technique et industrielle, 1926 ; un vol. broché, $25^{cm} \times 16^{cm}$, de 241 pages, avec 48 figures. Prix : 40 francs. (Collection « Les grandes questions à l'ordre du jour »). (Don de l'éditeur).

Digitized by Google

Applications diverses de l'électricité. — Électrophysiologie.

Accidents et dangers de l'électricité, par le Dr Paul Duhem. Electro-radiologiste des hôpitaux de Paris. — Paris Gauthier-Villars et Cie, 1928 ; un vol. broché 20cm × 13cm. de x-74 pages, avec 7 figures. Prix : 10 francs. (Collection « Les actualités physiothérapiques », publiées sous la direction du Dr Paul Duhem). (Don de l'éditeur).

Formulaires, aide-mémoire, manuels, etc...

Manuel du Mécanicien Electricien, par H. de Graffigny. Ingénieur civil. Rédacteur à *l'Electricien*. — Paris. Gauthier-Villars et Cie. 1928 ; un vol. cartonné 19cm × 13cm, de 225 pages, avec 88 figures (« Bibliothèque des Actualités industrielles », nº 184. Collection Bernard Tignol). (Don de l'éditeur).

Agenda d'électricité, par P. Bunet et A. Ceytre. — Paris, 1928, J.-B Baillière et fils ; un vol. broché 15cm × 10cm, de 235 pages avec 86 figures. — (Collection « Agendas industriels J.-B Baillière ». (Don de l'éditeur).

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité.

La houille blanche, l'électrification des chemins de fer du Midi et l'essor économique de la région du Sud Ouest, numéro spécial de propagande publié par le *Sud-Ouest Economique*. — Bordeaux, imprimerie Delmas, 1928, un vol. broché $27^{cm} \times 21^{cm}$ de 251 pages avec aquarelles, dessins, photographies, figures, cartes et plans hors texte et dans le texte. (Don du *Sud Ouest économique*). — Prix 22 francs.

Le *Sud-Ouest Economique* continuant la série de ses belles monographies régionales publie un splendide numéro de 260 pages, *La Houille Blanche*.

Ce numéro étudie plus spécialement l'Electrification des Chemins de fer du Midi, et l'Essor économique de la région.

Cet ouvrage contient de remarquables études de M. Paul, Directeur de la Cie des Chemins de fer du Midi et des principaux Ingénieurs de cette Compagnie, MM. Godard, Bachellery, Villeneuve, Leboucher, Garau, ainsi que des articles de MM. Hubert, Lagardelle et Henri Martin, sur l'essor économique de la région du sud-ouest, l'électrification rurale et les principales entreprises industrielles.

La présentation de l'ouvrage est remarquable. Plus de 300 gravures hors texte et dans le texte, aquarelles et dessins de MM. H. d'Hauterive, Ballé-Marcy, photographies de M. Jacmart, de MM. Bourgeois, Cie Aérienne Française, Jové, Lumière et Jougla, Mader et Yvon.

Sud-Ouest Economique. 6 place Saint-Christoly à Bordeaux (22 fr. franco).

Électrochimie. Électrométallurgie

Piles et Accumulateurs, par Lucien Jumau. Ingénieur. — un vol in-16, *76 figures*. (Collection Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel, Paris V^{e}) relié 10 fr. 25 ; broché 9 fr.

Avec le développement prodigieux des applications de l'Electricité, les Piles et les Accumulateurs électriques sont devenus d'un emploi si fréquent qu'on peut dire que tout le monde est appelé à manipuler ou à utiliser ces générateurs si précieux d'énergie électrique.

En demandant à notre collègue M. L Jumau d'écrire, pour la Collection Armand Colin, ce livre sur les *Piles et Accumulateurs* électriques, les Directeurs de la Collection ne pouvaient être mieux inspirés, la compétence de l'auteur en cette matière étant universellement connue, et particulièrement par les membres de notre Société.

Sous une forme simple, l'auteur donne la théorie de ces générateurs électrochimiques d'énergie électrique, en étudie la technique et en décrit les nombreuses applications.

Digitized by Google

Congrès. Expositions. Actes officiels. Annuaire

Les hauts salaires par F. Bayle, Paris, Félix Alcan 1927, 1 volume 20 × 13cm de XIX-622 pages (Don de l'auteur).

L'auteur qui a déjà publié de nombreux travaux sur le « salaire moderne » place son œuvre sous l'égide de M. Charles Lallemand, Inspecteur général des mines, qui doit être considéré en cette matière comme un précurseur puisqu'en 1888 déjà, il avait introduit au service du nivellement général de la France, avec un plein succès, l'application d'une nouvelle conception du salaire comportant une participation aux bénéfices.

Le début de l'ouvrage rappelle les origines du salaire à prime et montre comment le salaire moderne constitue réellement un mode de participation au profit industriel, et la véritable solution de la participation du salaire aux bénéfices de l'entreprise.

Divers chapitres après avoir démontré l'inanité de la doctrine de Karl Marx, indiquent dans quelle direction doit se poursuivre l'amélioration du régime capitaliste et exposent comment cette question du salaire a été abordée par les philosophes, les économistes, les savants, les Ingénieurs spécialistes et les industriels.

Etudiant les répercussions économiques du problème, l'auteur s'élève avec raison, en s'appuyant sur la haute autorité de M. Charles Lallemand, qui l'a également dénoncée à l'Institut, contre l'éventualité acceptée par certains, d'une banqueroute de la France. L'ouvrage porte d'ailleurs en exergue cette citation curieuse de Copernic (1543) : « Parmi les causes de l'abaissement des nations, l'une des plus importantes, mais que seules quelques personnes comprennent, est la dépréciation de la monnaie. Sans violence, par des routes cachées, elle conduit un royaume à sa ruine ».

La deuxième partie de l'ouvrage est consacrée à la question des unités et de leurs dimensions, que l'auteur juge essentielle pour la compréhension claire des formules de salaire Il y est montré notamment que les relations entre grandeurs physiques doivent être considérées comme portant non seulement sur les nombres abstraits qui représentent le résultat des mesures, mais sur les grandeurs physiques elles-mêmes.

Si l'idée est juste, le développement en est parfois un peu long, et certaines considérations trop personnelles, et contestables, au sujet notamment du système légal Mètre-Tonne-Seconde, ne pourraient sans doute être acceptées par ses promoteurs.

Cet ouvrage, écrit dans un style alerte, et dont le ton, parfois véhément, est toujours attachant par sa sincérité, intéressera au plus haut point tous ceux Ingénieurs et Economistes, que préoccupent à juste titre, les problèmes actuels industriels et sociaux.

Quelques aspects de l'évolution des prix au siècle dernier et en notre temps, par Maurice Virlogeux, ingénieur E S.E., docteur en droit. — Un volume 200 pages, 42 tableaux statistiques et 26 planches graphiques, avec un avant-propos de l'auteur et une table des matières. — E. Giard, rue Soufflot à Paris, broché 25 francs. Hommage de l'auteur.

L'auteur critique les principales théories émises à ce sujet, en particulier les « théories quantitatives » où le facteur monétaire joue un rôle de premier plan. Il met en garde contre toute théorie *a priori* et se propose d'étudier le phénomène dans deux périodes particulièrement bien choisies. La première s'étendant de 1850 à 1860, caractérisée par une variation importante de la quantité de métal précieux et de plus par une évolution marquée de facteurs économiques divers ; la seconde s'étendant de 1914 à 1924.

Pour chacune de ces deux périodes, il groupe les différents produits en cinq catégories : végétaux comestibles, animaux, végétaux pour usages industriels, matières premières pour l'industrie, et objets manufacturés. Il étudie les courbes de variation de prix pour quelques types de chaque catégorie.

Il examine les facteurs principaux qui ont pu intervenir (facteurs politiques et économiques, moyens de transport, facteur monétaire, balance commerciale). Enfin

Digitized by Google

pour la période 1914-1924 il insiste tout particulièrement sur l'instabilité de la devise française et sur le change.

Il est joint à cette étude de nombreux relevés statistiques et des graphiques divers très intéressants.

Compte rendu officiel des travaux de la 4e Assemblée Plénière du Comité Consultatif International des communications téléphoniques à grande distance (Côme 5-12 septembre 1927) (1). — 1° Liste des délégués et experts ; 2 Procès-verbal de la séance d'ouverture ; 3° Questions d'organisation générale ; 4° Questions de transmission, d'entretien et de surveillance des lignes et des installations ; 5° Questions de trafic et d'exploitation ; 6° Questions concernant la protection des câbles téléphoniques contre la corrosion due à l'électrolyse ou aux actions chimiques ; 7° Procès-verbal de la séance de clôture ; 8° Liste récapitulative des questions traitées par le Comité Consultatif International des communications téléphoniques à grande distance, depuis l'origine de ses travaux. — Brochure in 4° coquille de 169 pages et 37 figures. Prix : France 10 francs, franco 11 francs ; autres pays, franco : 12 francs.

Le Comité Consultatif International des Communications Téléphoniques à grande distance qui comprend les représentants officiels des Administrations des Téléphones de 25 pays, s'est réuni en Assemblée plénière à Côme en septembre 1927 et a étudié de nombreuses questions concernant la spécification, l'entretien et la surveillance des lignes et des installations téléphoniques à grande distance, les méthodes d'exploitation téléphonique internationale, ainsi que les questions concernant la protection des enveloppes des câbles téléphoniques contre l'électrolyse ou contre la corrosion due aux actions chimiques du sol.

Ces dernières questions ont été étudiées en collaboration avec des Représentants de l'Union Internationale des chemins de fer, de l'Union Internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique, des principales Associations d'Ingénieurs-Electriciens. En outre, des observateurs de la Commission Electrotechnique Internationale et de l'Union Internationale des tramways, des chemins de fer d'intérêt local et des transports publics automobiles ont suivi l'étude de ces questions.

Le résultat de ces travaux est reproduit dans le livre précité.

Parmi les questions traitées dans cet ouvrage, les plus importantes sont les suivantes :

Valeur de l'équivalent de transmission entre postes d'abonnés dans une communication internationale et répartition de cet équivalent, entre les différentes lignes et organes constituant la communication. — Conditions générales à remplir par les sections de câbles intercalées sur les lignes aériennes, en ce qui concerne les pertes d'efficacité et les irrégularités d'impédance. — Consigne pour la mise en service et l'entretien des circuits téléphoniques internationaux. — Conditions que doivent remplir les systèmes de référence pour les mesures de transmission téléphonique. — Facilités nouvelles offertes au public dans le service téléphonique international. — Projet de texte de « Directives, concernant les mesures à prendre pour la protection des câbles contre la corrosion électrolytique » (avec 2 annexes). — Projet de « Directives, concernant les mesures à prendre pour la protection des câbles contre la corrosion due aux actions chimiques » (avec 2 annexes).

Pour toutes ces questions, des avis ont été émis par le Comité Consultatif International des Communications Téléphoniques à grande distance, préconisant les solutions qui, après un examen approfondi, ont été jugées les plus recommandables.

Appareillage. Canalisations. Traction.

Modes spéciaux de traction électrique par courant continu, par L. Barbillion, professeur à l'Université de Grenoble, directeur de l'Institut polytechnique. 130 pages, 63 figures, avertissement de l'auteur, et table des matières.

(1) Paiement par mandat-poste, adressé à M. le Secrétaire Général du Comité Consultatif International des Communications Téléphoniques à grande distance, 23, avenue de Messine, Paris, 8e.

Digitized by Google

Albin Michel, 22 rue Huyghens, Paris, collection « Bibliothèque de l'ingénieur électricien-mécanicien. Don de l'éditeur. Prix 10 francs (broché).

Cet ouvrage fait suite à un certain nombre de publications de l'auteur sur la traction électrique, en particulier à celle intitulée « La traction électrique par courant continu ». Il se divise en quatre parties. La première contient des considérations générales sur le développement de la traction par courant continu dans quelques cas particuliers. La seconde concerne spécialement la traction électrique par accumulateurs. L'auteur y rappelle d'abord brièvement l'état actuel des accumulateurs au plomb et des accumulateurs alcalins. Il traite ensuite des applications existantes: sur les réseaux ferrés d'intérêt général et dans leurs services auxiliaires; puis sur route; après un historique de la question, il expose les conceptions actuellement adoptées pour l'établissement des châssis des véhicules en France et à l'étranger, (notamment en Italie); ainsi que les résultats d'exploitation des autobus électriques à accumulateurs en prenant comme exemple le service d'autobus électriques de Lyon. La troisième partie traite des électrobus à trolley (sans rails) et de quelques lignes françaises, italiennes et américaines Le point de vue économique y est traité comparativement avec celui de l'emploi de véhicules à essence.

Enfin la quatrième partie traite de la traction dite « thermo-électrique » par locomoteurs « diesel-électrique » et « pétroléo-électriques » notamment en Italie et en Amérique.

Les moteurs à courants alternatifs par L. Lagron ingénieur électricien, ingénieur à l'appareillage Electro industriel Pétrier Tissot et Raybaud, ingénieur-conseil de la Société « Le Moteur Electrique » Un volume de 425 pages, 211 figures. A. Blanchard 3 Place de la Sorbonne dans la collection intitulée « Nouvelle Encyclopédie Electro Mécanique » et publiée sous la direction de E. Pacoret. — Don de l'éditeur, broché 25 francs.

Cet ouvrage très complet à la fois théorique et pratique est divisé en quinze chapitres.

Le premier chapitre contient des généralités sur les moteurs synchrones et asynchrones.

Les chapitres suivants concernent spécialement les moteurs asynchrones, les moteurs synchrones ayant été traités en même temps que les alternateurs et faisant l'objet d'une publication spéciale de la même collection.

Les six premiers chapitres sont réservés aux moteurs d'induction polyphasés.

Les chapitres II et III exposent leur fonctionnement et établissent les constantes et les formules

Le chapitre IV s'occupe de l'étude des pertes dans le fer et dans le cuivre, et du rendement.

Le chapitre V traite du calcul des échauffements.

Le chapitre VI concerne l'Etablissement des diagrammes, des tensions et des intensités).

Le chapitre VII décrit les différents modes de démarrage. On y trouve en particulier des renseignements sur les moteurs Boucherot et quelques mots sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction en général.

Le chapitre VIII est réservé aux moteurs d'induction monophasés.

Le chapitre IX traite des essais de réception des moteurs d'induction et des méthodes de mesure des pertes et du rendement.

Les chapitres X et XI indiquent la marche à suivre pour l'établissement d'un projet de moteur d'induction et donnent à titre d'exemple un calcul numérique complet.

Le chapitre XII établit la classification des moteurs d'induction au point de vue de leur fermeture et de leur refroidissement. Il contient de nombreux schémas.

Le chapitre XIII envisage les applications des moteurs asynchrones. On y trouve également quelques renseignements sur leur couplage en cascade.

Le chapitre XIV est réservé aux moteurs à collecteur et étudie la « compensation » des moteurs asynchrones.

Enfin le chapitre XV aborde le problème de la puissance réactive et indique les moyens de la réduire à ses effets. Il se termine par quelques mots sur le réglage de la vitesse des moteurs asynchrones par couplage en cascade.

Digitized by Google

Enseignement.

Cours de cinématique, par Gaston Julia. Professeur à la Faculté des sciences de Paris, rédigé par Jean Dieudonné, un vol. in-8 carré (23-14) de 150 pages et 52 figures, 1927. [Prix 25 francs].

On trouvera dans ce Cours les notions de Cinématique qu'il est indispensable de connaître pour suivre le Cours de Mécanique rationnelle de nos Facultés des Sciences ou de nos grandes Ecoles, et pour lire avec fruit les traités classiques de Mécanique rationnelle. Composé des leçons faites par l'auteur à la Sorbonne, il s'adresse particulièrement aux étudiants de licence ou d'agrégation et aux élèves des grandes Ecoles.

Formulaire. Aide-mémoire. Manuels.

Manuel de l'éclairage et applications pratiques aux ateliers, magasins, habitations, voies publiques, etc .., par L -D. Fourcault, Ingénieur conseil. Rédacteur en chef de l'*Electricien*, éclairagiste E.S E. — 1 volume de 16×25^{cm} de XIV-276 pages avec 237 figures, 1928. Relié : 55 fr. Broché : 46 fr. Dunod, éditeur (don de l'éditeur).

La débauche inouïe de lumière dans les artères principales des grandes agglomérations, la recherche précieuse des installations intérieures, les effets surprenants obtenus dans les théâtres et les music-halls, n'incitent-ils pas à penser que l'éclairage est l'élément de la vie publique et privée de la société moderne, qui a pris le plus d'importance depuis quelques années. Et pourtant, c'est l'empirisme qui a présidé à son utilisation jusqu'à ces derniers temps. Mais la complexité et la multiplicité des problèmes posés, le besoin d'innover, la nécessité d'obtenir de hauts rendements imposent aujourd'hui, pour l'utilisation de la lumière artificielle, l'adoption de méthodes rationnelles basées sur des calculs exacts.

Qu'il s'agisse du gaz ou de l'électricité, ou de toute autre source de lumière, l' « éclairagisme », ou science de l'utilisation de la lumière, est désormais enseigné et pratiqué par des spécialistes. Il est inutile d'insister sur les débouchés infinis ouverts à cette technique nouvelle.

Clair et concis, le manuel de M. Fourcault contient toutes les notions théoriques et pratiques relatives à l'éclairagisme (étude très détaillée de la lumière et des radiations, physiologie de l'œil, photométrie, diverses sources lumineuses; utilisation pratique de la lumière : méthodes et calculs d'éclairage, applications diverses, éclairage des voies publiques, éclairages spéciaux pour cinémas, théâtres, enseignes lumineuses, etc...). Aussi, sera-t-il l'auxiliaire indispensable des constructeurs d'appareils, des entrepreneurs installateurs, des électriciens, ingénieurs et architectes, et de tous les usagers : industriels, commerçants, étalagistes, etc...

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

Assemblée générale et Réunion ordinaire mensuelle du 6 Avril 1898.

Présidence de M. d'Arsonval

Après la lecture des rapports de la Commission des Comptes et du Comité d'Administration, M. Laffargue rend compte des constatations les plus intéressantes qu'il a pu faire dans les installations électriques allemandes, au cours d'une mission dont il avait récemment été chargé par le Conseil Municipal de Paris.

L'Imprimeur-Editeur : Etienne Chiron, Paris.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du Mercredi 2 Mai 1928, p. 447.
Admission de Membres titulaires, p. 447.
Dons à l'Ecole Supérieure d'Electricité, p. 448.
Dons au Laboratoire Central d'Electricité, p. 448.

RAPPORTS A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE :

Rapport du Comité d'Administration, p. 450.
Rapport de la Commission des comptes, p. 454.
Rapport annuel sur le Laboratoire Central et l'Ecole Supérieure d'Electricité, p. 468.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Les lignes électriques en câbles à 132 000 Volts de New-York et de Chicago (M. EMANUELI), p. 480. Observations de M. DELON, p 514. — L'Etat actuel de l'industrie du cadmium considéré comme sous-produit de la Fabrication électrolytique du zinc (M. ALTMAYER), p. 516. — Observations de M. FALLOU à la communication de M. GONDET sur l'oscillographe cathodique Dufour, p. 522.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ELECTRICIENS :

a) Visite des usines de Boulogne et de l'Avenue de Breteuil de la Société « Le Matériel Téléphonique », p. 523.
b) Réunion du Congrès international d'Eclairage en 1928, p. 525.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 526. Texte, p. 526.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 534.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 536.

IL Y A TRENTE ANS, p. 539.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

4e série, tome VIII, mai 1928, n° 81.

Digitized by Google

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Mercredi 2 Mai 1928

Présidence de M. IMBS.

La séance est ouverte à 20 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Blaise (Frédéric), ingénieur-électricien I. E. N., administrateur délégué de la Compagnie Haute-Marnaise d'Electricité, Roches-sur-Rognon (Haute-Marne). — Présenté par MM. Goldschmidt et Steinmann.

Bonnet (Joseph-Marius), ingénieur A. et M., élève à l'Ecole Supérieure d'Electricité, 77, rue d'Arcueil, Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bredeau (Georges-Lucien), ingénieur à la Société des Forces Motrices de la Vallée d'Aspe, 34, boulevard Seuliger, Agen (Lot-et-Garonne). — Présenté par MM. Delasalle et Berthet.

Canard (Adolphe), ingénieur à la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône, Chemin de Fontanières, La Mulatière (Rhône). — Présenté par MM. Berne et Jourdan.

Coumes (René-Lucien), ingénieur à la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône, 4, rue Jean-Quitout, Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Berne et Jourdan.

Dehan (Henri-Marius-Antoine-Etienne), ingénieur des Arts et Manufactures, élève à l'Ecole Supérieure d'Electricité, 18, rue des Ormes, Charenton. — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Duforet (André-Yves-Jules), élève de l'Ecole Supérieure d'Electricité, 5, boulevard Jourdan, Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Eyglunent (Gilbert), élève à l'Ecole Supérieure d'Electricité, Hôtel Edgard-Quinet, rue Edgard-Quinet, Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Eyrolles (Léon), ingénieur directeur de l'Ecole spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie, Cachan (Seine). — Présenté par MM. Paraf et Péridier.

Frécaut (Louis-Henri-Fernand), 81 CEM, 9e Génie, Place de la République, Metz (Moselle). — Présenté par MM. Thomson-Harry et Baz.

Hardy (Jean-Joseph-Edouard), capitaine du Génie à la Chefferie du Génie, à Metz (Moselle), 44, rue de Pont-à-Mousson, Metz (Moselle). — Présenté par MM. Grosselin et Jouvion.

Jacquet (René-Pierre), ingénieur I. E. G., ingénieur en chef de la Société Charentaise de Distribution Electrique à Gimozac (Charente-Inférieure). — Présenté par MM. Delasalle et Courant.

Launé (Pierre), ingénieur A. et M., élève à l'E. S. E., 5, rue Nay, Saint-Denis (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Le Boucher (Aristide), ingénieur représentant de la Maison Bréguet, 83, rue des Ayres, Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM Rousseau et Lefertre.

Louchard (Marius), diplômé de l'Institut Electrotechnique de Toulouse, Paris (18e), 5, rue Déjean. — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Petit (Jean-Jacques-Emile), élève à l'E. S. E., ingénieur E. C. P., 105, rue de Courcelles, Paris (17e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Pons (Joseph), ingénieur, chef du Service des Compteurs à la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône, 9, rue Dumenge, Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Berne et Jourdan.

Rondet (François-Léon), ingénieur à la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône (Service des canalisations), 271, avenue de Saxe, Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Berne et Jourdan.

Roux (Lucien-Henri), ingénieur diplômé de l'Ecole Supérieure d'Optique, ingénieur à l'Institut d'optique, 111, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris (6e). — Présenté par MM. Fabry et Grosselin.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président annonce les dons suivants faits à l'Ecole supérieure d'Electricité : par la Maison Da et Dutilh : 1 voltmètre 5-60 volts et 1 Ampèremètre 10 A à double dérivation; par la Maison Bresson et Cie : 5 interrupteurs I 300 sp.

D'autre part, la Compagnie de signaux et d'entreprise électriques a fait don au Laboratoire Central d'Electricité d'un appareil destiné aux essais de vieillissement du caoutchouc.

M. le Président adresse à ces divers Etablissements les remerciements de la Société; il remercie également les donateurs des ouvrages offerts dont la liste est donnée dans le présent Bulletin.

L'ordre du jour appelant les communications techniques, M. Roth, Ingénieur en chef à la S.A.C.M. présente au nom de M. Jung, une communication sur *l'état actuel de la commande des laminoirs irréversibles par moteurs à courant triphasé.*

M. le Président remercie vivement M. Roth de la communication qu'il vient de présenter et qui apporte sur cette intéressante question du réglage de la vitesse des laminoirs une documentation complète dans laquelle le point de vue historique n'est pas négligé, puisqu'elle passe en revue les différents systèmes qui ont été successivement proposés.

M. Darrieus croit devoir rappeler que le mode de réglage par moteur polyphasé à collecteur qui, suivant les conclusions mêmes de M. Jung, se montre encore aujourd'hui le plus avantageux, dérive d'une invention de notre regretté Président M. Maurice Leblanc qui l'avait brevetée dès 1903 (Br. fr. 329 154). L'idée, malheureusement prématurée au point de vue des besoins et des possibilités de la technique de cette époque n'a surtout pas trouvé en France le concours

(1) Cette communication paraîtra in-extenso dans un Bulletin ultérieur.

Digitized by Google

technique nécessaire pour une mise au point qui, poursuivie par contre avec persévérance en Suisse notamment par la Société Brown-Boveri, à partir de 1905, et ultérieurement en Amérique par la G.E.Co, a conduit à la majeure partie des nombreuses applications réalisées avec succès depuis une dizaine d'années.

M. le Président remercie M. DARRIEUS d'avoir rappelé ce brevet pris par un de nos anciens Présidents et il prie M. ROTH de vouloir bien transmettre à la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques et à M. JUNG les remerciements de la Société.

M. ABADIE, présente une communication sur les *Phénomènes d'ionisation des gaz* (1).

Il expose comment un procédé pour le maintien automatique du vide à une valeur convenable, en empêchant le durcissement des tubes à gaz raréfiés lui a permis de réaliser des brillances et intensités lumineuses très élevées avec une durée convenable. Il présente enfin en même temps qu'une application à la signalisation aérienne, les effets décoratifs que permet l'emploi de tubes semblables à enduits fluorescents.

M. le Président remercie vivement M. ABADIE de son intéressant exposé.

La séance est levée à 23 heures.

---

(1) Cette communication paraîtra in-extenso dans un Bulletin ultérieur.

Digitized by Google

RAPPORTS PRÉSENTÉS A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du Mercredi 18 Avril 1928.

Rapport du Comité d'Administration.

Messieurs,

Décisions. — Au cours de l'exercice 1927, les décisions suivantes ont été prises par votre Bureau et votre Comité.

Dans sa séance du 16 juin, le Comité a décidé d'attribuer le prix annuel Ancel à M. Decaux pour ses travaux de recherches à l'Etablissement Central de Radiotélégraphie Militaire. Dans la même séance, le Comité a décidé d'attribuer deux annuités disponibles du legs Ancel à MM. Fournier et Fromy pour leurs travaux respectifs sur une nouvelle cellule au sélénium, et sur l'effet Wiedemann et ses applications.

Le 18 mai, le Bureau a pris l'initiative de la publication actuellement achevée des conférences remarquables que M. le Professeur S. Whitehead, chargé de cours d'échange, a données l'an dernier à l'Ecole Supérieure d'Electricité sur la question des diélectriques, et qui constituent une mise au point d'ensemble particulièrement opportune sur ce difficile sujet.

Le 16 novembre, le Bureau a accepté l'échange de notre Bulletin avec ceux de l'Illuminating Engineering Society et de la Physical Review.

Le 23 novembre, le Comité a décidé de fonder à l'Ecole Supérieure d'Electricité une bourse de frais d'études qui portera le nom de bourse Guinochet, en mémoire d'un ancien élève de l'Ecole.

Enfin, grâce à la pensée généreuse du Directeur de l'Ecole Supérieure et du Laboratoire Central d'Electricité qui avait émis le vœu de voir affecter à un secours d'études, les sommes primitivement destinées à commémorer par une réunion intime et la remise d'un objet d'art, son élévation à la dignité de commandeur de la Légion d'Honneur, une souscription a été ouverte dont le produit, plus de

Digitized by Google

60.000 francs, a dépassé toutes les espérances, et permis de constituer une bourse qui portera le nom de M. Paul JANET.

Semaine de discussions. — La tradition de la semaine annuelle de discussions d'octobre continue à rencontrer le même succès et a donné lieu cette année à la présentation de quelques mémoires particulièrement importants et substantiels.

Travaux des sections. — Le travail régulier des sections, auquel participent, outre quelques concours étrangers occasionnels, tous ceux de nos membres qui en expriment le désir, constitue un élément particulièrement efficace de l'activité de notre Société, qu'il est désirable de voir se maintenir et même se développer.

Groupes. — Les groupes régionaux, notamment ceux du Sud-Est et ceux du Sud-Ouest, ont continué à affirmer leur vitalité, en organisant des conférences et des réunions d'études, sur divers sujets d'actualité.

Représentation de la Société à l'étranger. — Notre Président, M. IMBS, a représenté la Société au dîner annuel de l'Institution of Electrical Engineers.

M. le Professeur RUSSEL a bien voulu représenter notre Société aux fêtes du bicentenaire de l'American Philosophical Society.

M. Paul JANET, membre de l'Institut, délégué au Congrès des physiciens à Côme et à la Commission Electrotechnique Internationale, représentait la Société aux fêtes instituées pour le centenaire d'Alexandre VOLTA, en septembre, à Côme et à Rome; il a pris notamment la parole le 11 septembre au cours de la séance solennelle à Côme, au nom de l'Institut de France.

Notre Président M. FABRY, et M. JANET ont représenté la Société au Centenaire de FRESNEL.

Enfin, M. BLONDIN a représenté la Société le 23 juillet 1927 à la Conférence Internationale de Bibliographie à Bruxelles.

Médaille Mascart. — La remise de la médaille MASCART à Sir J.-J. THOMSON le 3 juin à la Sorbonne, a été accompagnée d'une communication de l'illustre physicien sur la décharge sans électrodes ; la veille, un dîner de bienvenue avait permis de fêter à leur arrivée à Paris, Sir J.-J. THOMSON et Lady THOMSON. Une plaquette, contenant notamment la communication ci-dessus a été éditée pour commémorer ces diverses manifestations.

Digitized by Google

Inauguration de l'Ecole Supérieure d'Electricité à Malakoff. — L'année 1927 restera marquée par l'entrée en service des nouveaux bâtiments qui ont été inaugurés le 10 novembre par M. DOUMERGUE, Président de la République, assisté de MM. les Ministres de l'Instruction Publique et de la Guerre, de M. le Maréchal FOCH et de nombreuses autres personnalités.

Au cours de cette cérémonie, qui couronne une phase importante de la carrière du Directeur de l'Ecole et du Laboratoire, la cravate de Commandeur de la Légion d'Honneur, a été remise à M. JANET et, la Croix de guerre à l'Ecole Supérieure d'Electricité.

Visites. — Du 29 mai au 1er juin a eu lieu, sous la direction de M. Maurice LEBLANC notre Vice-Président, une visite aux mines du Nord et du Pas-de-Calais, dont tous ceux des membres de notre Société qui ont pu y prendre part gardent le meilleur souvenir, grâce à l'aimable accueil que leur ont réservé les chefs de ces entreprises, notamment MM. CHAMPY, DU BOUSQUET, WAYMEL, GUERRE, BARTHÉLEMY et LAURENT, grâce aussi à l'activité infatigable de nos collègues MM. MATHIVET et CONGE, qui ont bien voulu les recevoir eux-mêmes avec une charmante cordialité.

Le 9 juillet 1927, plusieurs d'entre nous ont pris part à la visite organisée sous la direction de M. MOUTIER, Ingénieur en Chef des Services techniques, aux nouvelles installations de block automatique, réalisées sur la ligne Beaumont-Creil, par la Compagnie des Chemins de fer du Nord.

Le 9 novembre, un certain nombre de membres du Comité et de la 5e Section, répondant à l'aimable invitation du Syndicat des Industries Radioélectriques, ont visité au Grand Palais l'exposition de T. S. F., ainsi que le salon nautique M. LE LAS, Vice-Président du syndicat et M. BELIN notamment, ont bien voulu leur prodiguer d'intéressantes explications.

Enfin, le 29 février 1928, grâce à l'aimable initiative de M. ANDRÉ, Administrateur-Délégué du Matériel téléphonique, une délégation du Bureau a pu visiter l'usine modèle de Boulogne-sur-Seine, où s'exécutent en grande série les appareils de téléphonie automatique.

Maison d'Ampère. — Enfin, l'un des événements les plus importants de cette année est l'acquisition récente par notre Société de la maison natale d'Ampère à Poleymieux, près de Lyon. Cette opération a pu être menée à bien, grâce d'une part à la libéralité de deux géné-

Digitized by Google

reux Américains, MM. BEHN, grâce, d'autre part, à l'initiative persévérante et vigilante de notre dévoué Directeur de l'Ecole, M. JANET, qui a bien voulu encore préparer l'affectation ultérieure de ce domaine, dont la gestion est confiée au Groupe Sud-Est, à la création d'un musée où seraient rassemblés les souvenirs, qui pourront être retrouvés, du grand savant.

Membres décédés. — En rappelant ici les noms de ceux de nos collègues décédés depuis le mois d'avril 1927 :

MM. ARNOUX René, Ancien Vice-Président de notre Société; COTTARD; GADOT Paul; GRIS Pierre; GOLDSMITH; GUILHEM, MICHEL Charles, Ancien Membre de notre Comité; PAUMIER Georges, TETAUD;

nous renouvelons à leurs familles nos bien sincères condoléances.

Distinctions. — Depuis avril 1927, les distinctions suivantes ont été attribuées aux Membres de la Société :

Ont été promus dans l'Ordre de la Légion d'Honneur :

Grand Officier. — M. le Général FERRIÉ;
Commandeurs. — MM. BRYLINSKY, JANET, ROUTIN et ULRICH;
Officiers. — MM. BELIN, HOLZSCHUH, JOUAUST, Marcel MEYER, DE VALBREUZE;
Chevaliers. — MM. BRANDT, FOULHOUZE, GEORGES, MATHIVET, METZGER, RAUBER.

Nous avons eu, d'autre part, le très grand honneur de voir notre Président en exercice, M. Charles FABRY, élu presque à l'unanimité, à l'Académie des Sciences.

Les prix suivants ont été décernés par l'Académie des Sciences :

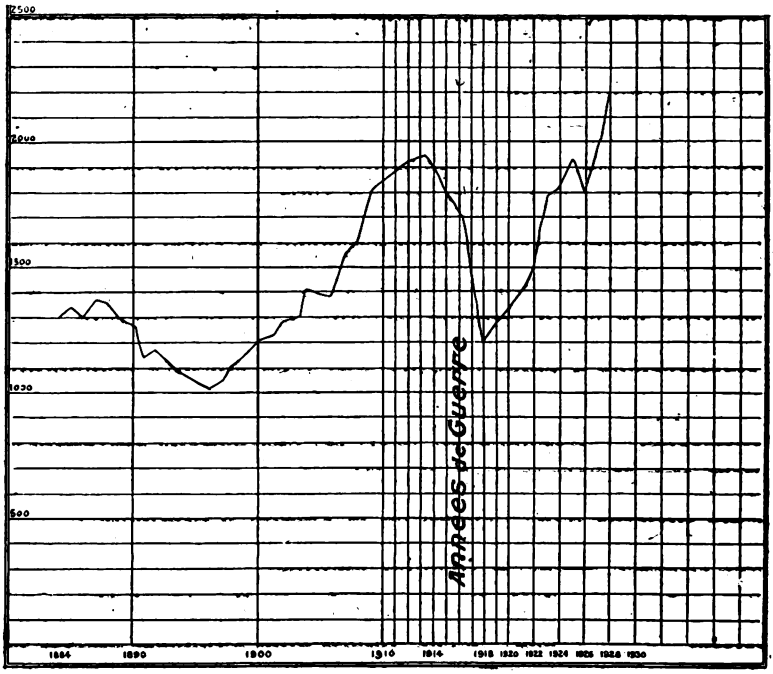
— le prix Henri de Parville à M. Paul GIRAULT;
— le prix Pierson-Perrin à M. HOLWECK;
— le montant de la Fondation Clément Félix à M. DAUVILLIER.

Enfin, M. ROTH a été reçu Docteur *honoris causa* ès sciences techniques de l'Université de BRUNN.

Recrutement. — L'espoir que nous exprimions l'année dernière de voir le nombre de nos Membres dépasser 2 000 n'a pas été déçu puisque ce nombre atteint aujourd'hui 2 200, et les progrès des dernières années sont, comme le montre la courbe ci-jointe, très encourageants;

Digitized by Google

mais comme nous le rappelions dans notre précédent rapport ces résultats sont encore loin du but auquel nous devons prétendre, en con-



sidération de la situation acquise par les Sociétés analogues américaine, britannique et italienne et aussi de l'importance que s'est acquise l'industrie électrique dans notre pays.

Rapport de la Commission des Comptes.

Messieurs,

L'Assemblée générale du 8 janvier 1927 nous a confié la mission d'examiner les comptes de notre Société pour l'Exercice 1927. Nous venons vous exposer les observations qu'appelle, de notre part, l'étude que nous avons faite en conséquence de ce mandat.

Le résumé du Compte d'Exploitation des différents services de la Société, se présente de la manière suivante :

Digitized by Google

	RECETTES	DÉPENSES	EXCÉDENT RECETTES	EXCÉDENT DÉPENSES
Laboratoire	538.498 26	525.919 51	13.478 75	
Ecole	1.276.577 56	1.103.767 04	172.810 52	
Société savante	149.544 60	162.728 06		13.183 46
Services généraux	144.808 12	122.030 23	22.777 98	
Totaux	2.109.428 54	1.913.544 84	209.067 16	13.183 46

Excédent de recettes : 195.883 70

Voici, d'autre part, le résumé du bilan :

ACTIF			PASSIF	
Bibliothèque et mobilier		48.355 20	Avances	443 356 65
Terrain et constructions :			Créanciers	7.083.126 09
Malakoff	7.385.507 35	8.010.208 68	Amortissement général	286.021 20
Rue de Staël	624.701 33			
Matériel :			Amortissement du Portefeuille	227 685 83
Malakoff	3.010.924 63	3.785.236 80	Réserves	6.364.808 74
Rue de Staël	774.312 17			
Débiteurs divers		2.532.774 11	Capital	4.036.266 36
Portefeuille		1.371 806 66		
Caisse et Banque		2.692.878 42		
Total		18.441 259 87	Total	18.441.259 87

Compte d'exploitation. — Les comptes des différents services, la Société savante mise à part, présentent des excédents de Recettes malgré l'augmentation du prix de bien des choses, et malgré le relèvement des traitements du personnel, effectué dès le 1er janvier par application des décisions prises fin 1926.

En ce qui concerne le Laboratoire, ce résultat est dû au développement considérable des essais. Le déficit, qui paraissait impossible à combler sans un prélèvement important sur les réserves de la Société, n'a absorbé qu'une partie des subventions de l'année, et tout permet d'espérer que, grâce, d'autre part, aux versements sur la taxe d'apprentissage qui semblent devoir lui constituer au cours des prochains exercices une ressource importante, le Laboratoire aura définitivement mis fin aux insuffisances annuelles.

Digitized by Google

Les subventions de 1927 sont les suivantes :

Enseignement technique	5 000 »
Secteurs de la région parisienne	5 000 »
Société d'Electricité de Paris	3 000 »
Compagnie des Compteurs	3 000 »
Ateliers de Constructions Electriques du Nord et Est	3 000 »
Compagnie Française Thomson-Houston	2 000 »
Etablissement Hillairet	1 500 »
Le Matériel Téléphonique	1 000 »
Accumulateurs Dinin	1 000 »
Omnium Lyonnais	1 000 »
Société Industrielle des Téléphones	1 000 »
C. P. D. E.	1 000 »
Accumulateurs Tudor	1 000 »
Geoffroy Delore	500 »
Compagnie de Constructions Electriques	500 »
Société d'applications Industrielles	500 »
Compagnie Continentale pour fabrication des compteurs	500 »
Société Parisienne pour l'Industrie des Chemin de Fer et Tramways Electriques	500 »
Etablissements Clémançon	300 »
Etablissements Jules Richard	250 »
L'Air liquide	200 »
Compagnie Electrique de la Loire et du Centre	250 »
Union Electrique de Saint-Claude	200 »
E. S. E.	20 000 »
	52 200 »

L'Ecole a vu ses ressources s'augmenter du fait du relèvement des frais d'études. Cette mesure s'imposait comme conséquence de son transfert à Malakoff, où les dépenses de personnel, les frais généraux de toute nature, etc... sont, bien plus considérables que rue de Staël : autant qu'on en peut juger par une expérience incomplète puisque le fonctionnement à Malakoff n'a duré que trois mois, la Société Française des Electriciens n'a demandé aux élèves que le sacrifice minimum qu'elle devait leur demander.

Les subventions pour l'Ecole ont été les suivantes :

Digitized by Google

Compagnie Continentale Edison	1 000	»
Geoffroy Delore	1 000	»
M. de Rothschild	2 000	»
Société Gramme	1 000	»
Tréfileries et Laminoires du Havre	3 000	»
	8 000	»

Quant à la Société savante, si elle a eu la satisfaction de voir le nombre de ses membres passer de 1 800 environ à plus de 2 000, elle a eu à subir, du fait des frais d'impression de son bulletin et de ses dépenses de personnel, une lourde charge qui l'a mis en léger déficit; ce déficit a été plus que compensé par l'excédent de recettes constaté aux Services Généraux.

Bilan.

Les différents postes du Bilan sont présentés de la même manière que les années précédentes : l'opération de la construction de l'Ecole de Malakoff constituant un chapitre distinct, destiné à disparaître en 1928.

Les éléments de ce bilan ont été établis d'après les principes admis depuis longtemps : les dépenses de premier établissement figurent à l'actif pour le montant total des sommes qui leur ont été consacrées, et au passif se trouvent des réserves d'amortissement, calculées comme suit : pour les constructions, d'après le temps qu'elles ont à servir à la Société (ceci ne s'applique pas aux bâtiments de Malakoff, qui, pour l'instant, ne subissent aucune réduction, étant considérés comme faisant partie d'une opération en cours); pour le matériel 5 % de sa valeur.

Un effort complémentaire a été fait pour les constructions que l'Ecole a abandonnées rue de Staël, et laissées au Laboratoire Central d'Electricité; celles-ci ont été entièrement amorties avant leur passage au nouveau service.

Quant au Portefeuille, la valeur en a été calculée d'après les cours de la Bourse au 31 décembre 1927, le Compte de Dépréciation a disparu du Bilan de l'Ecole, et s'il reste pour une somme réduite au chapitre Société, il se trouve balancé au Passif de ce même service par une réserve plus qu'équivalente.

Digitized by Google

Au cours de l'année, deux bourses nouvelles ont été constituées, en souvenir d'élèves de l'Ecole décédés. Elles sont toutes deux importantes : l'une, la Bourse Frantz HUEBER-REGNAULT, s'élève à 69 575 fr.; l'autre la bourse GUINOCHET, à 31 442 francs.

En résumé, en indiquant qu'elle dispose à ce jour d'un capital de 4 036 266 fr. 36, la Société donne une indication exacte. Le Laboratoire paraît pourvu convenablement pour l'avenir grâce à la taxe d'apprentissage, la Société Savante et les Services Généraux équilibrent ensemble leur budget, quant à l'Ecole, ses dépenses devront être maintenues, par une gestion prudente, dans la limite des ressources qui lui sont propres.

Telles sont les considérations que nous croyons devoir vous présenter, et comme conclusion desquelles nous vous proposons d'approuver les comptes qui vous sont soumis.

Digitized by Google

COMPTE D'EXPLOITATION
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

EXERCICE 1927

RÉSUMÉ DE L'EXPLOITATION

	RECETTES	DÉPENSES	EXCÉDENT DE RECETTES	EXCÉDENT DE DÉPENSES
Laboratoire	538.498 26	525.019 51	13.478 75	
Ecole	1.276.577 56	1.103.767 04	172.810 52	
Société savante	149.544 60	162.728 06		13.183 46
Services généraux	144.808 12	122.030 23	22.777 98	
Totaux	2.109.428 54	1.913.544 84	209.067 16	13.183 46

Excédent de recettes : 195.883 70

Digitized by Google

Laboratoire Central d'Électricité.

Budget 1927	Recettes			Dépenses			Budget 1927
7.903 »	Arrérages de la rente		7.903 »	Personnel		294.658 90	282.000 »
280.000 »	Redevances pour essais et étalonnements		474.099 56	Frais d'administration :			
	Redevance des élèves et tiers		837 80	Frais de bureau, correspondance et divers	12.324 49		7.500 »
	Recettes diverses		357 90	Chauffage	32.220 50		26.000 »
	Dons en nature		2.900 »	Eau, Electricité	9.198 97		5.000 »
			486.298 26	Téléphone	2.857 65	56.601 61	2.500 »
				Comité d'Eclairage		200 »	200 »
				Opérations et essais taxés :			
				Moteurs à gaz et électriques.	64.826 98		50.000 »
				Produits	7.713 50		9.000 »
				Atelier	520 50		3.000 »
				Déplacement du personnel.	13.707 20		4.000 »
				Dépenses pour clients	11.793 35	98.561 53	mémoire
				Loyers, Impôts, Assurances		3.044 40	2.500 »
				Entretien des bâtiments		4.945 97	12.000 »
				Entretien des machines et appareils		20.007 10	20.000 »
				Expériences et recherches			5.000 »
				Amortissements :			
				Matériel 5 %	32.000 »		
				Construction 3 %	15.000 »	47.000 »	25.000 »
						525.019 51	
135.797 »	*Déficit industriel*	38.721 25		Solde créditeur faisant emploi de la totalité des souscriptions		13.478 75	
30.000 »	couvert par souscriptions (non compris celles imputables sur la taxe d'apprentissage 1928	38.721 25					
	Supplément de souscriptions.	13.478 75	52.200 »			538.498 26	453.700 »
453.700 »			538.498 26				

Immobilisations

En dehors des opérations ci-dessus qui concernent l'Exploitation

nous avons reçu (*voir au Bilan*)		nous avons dépensé (*voir au Bilan*)	
Supplément subvention travaux publics	120.000 »	pour salle H. T.	43.332 18
		pour acquisition de matériel	19.835 65
		pour dons en nature	2.900 »

Digitized by Google

École Supérieure d'Electricité.

Budget 1927	Recettes		Dépenses		Budget 1927
	Redevances des élèves et auditeurs (Frais		Personnel	327.569 65	300.000 »
727.000 »	d'études, Section normale, Sorbonne).	891.029 75	Frais d'administration :		
35.000 »	Fournitures diverses	56.333 »	Frais de bureau, correspondance et divers	21.479 85	12.000 »
75.000 »	Autographies	99.540 75	Chauffage et Eclairage	49.061 80	13.000 »
	Radiotélégraphie :		Téléphone	2.816 60	3.000 »
			Travaux des élèves :		
161.600 »	Frais d'études	153.760 85	Moteurs à gaz et électriques	16.740 10	10.000 »
35.000 »	Section d'Eclairage	23.700 »	Produits et dépenses diverses	7.104 15	7.000 »
5.000 »	Souscriptions	8.000 »	Atelier	27.468 69	24.000 »
37.000 »	Intérêts des fonds placés	37.529 71	Conférences, projets, examens, etc.	131.631 35	132.000 »
2.000 »	Subvention de la Ville de Paris	2.000 »	Fournitures diverses	43.759 »	30.000 »
	Recettes diverses	4.683 50	Autographies	97.711 70	70.000 »
			Sorbonne	15.608 »	14.000 »
			Section d'Eclairage	23.353 90	35.000 »
			Radiotélégraphie	93.841 70	129.950 »
			Impôts, assurances	15.269 95	10.000 »
			Entretien des bâtiments	11.941 95	12.000 »
			Entretien des machines et appareils	34.820 50	20.000 »
			Subvention au Laboratoire	20.000 »	20.000 »
			Location de salles	6.584 »	12.000 »
			Versement du 10e des revenus	3.752 97	3.700 »
			Reconstruction Ecole	48 406 33	35.000 »
			Amortissements :		
			Matériel 5 % ..... 22.500 »		
			Construction 68.805 60	91.305 60	26.000 »
			Déplacements et autos	13.539 25	
				1.103.767 04	918.650 »
			Solde créditeur de l'Exploitation	172.810 52	158.950 »
1.077.600 »		1.276.577 56		1.276.577 56	1.077.600 »

Immobilisations

En dehors des opérations ci-dessus qui concernent l'Exploitation nous avons dépensé (*voir au Bilan*) :

Pour acquisition matériel 29.169 10

Digitized by Google

Société Française des Électriciens.

A. — *Société savante.*

Exploitation 1927.

Budget 1927	*Recettes*		*Dépenses*		Budget 1927
128.000 »	Cotisations de l'exercice	138.248 90	Frais de publication :		
	Prélèvement sur intérêts pour part contributive des cotisations libérées dans la dépense du *Bulletin*	4.655 »	Bulletin affranchi	93.446 11	90.000 »
3.500 »	Recettes *Bulletin*	6.640 70	Frais de réunions :		
			Location de salles 3.737 50		
			Sténo. Semaine octobre 2.590 »	6.327 50	5.500 »
131.500 »		149.544 60	Frais d'administration	14.997 36	12.500 »
15.000 »	Solde débiteur	13.183 46	Frais de correspondance	7.201 40	7.000 »
			Personnel	40.755 69	31.500 »
146.500 »		162.728 06		162.728 06	146.500 »

B. — *Services généraux.*

Exploitation 1927.

75.000 »	Intérêts des fonds placés 89.811 23		Bourses et Fondations :		
			payées 2.695 71		
	A déduire :		à payer 14.220 42	16.916 13	7.000 »
	Prélèvement pour Société savante 4.655 »	85.156 23	Cotisations à Comités divers	8.200 »	4.500 »
7.000 »	Intérêts des legs et fondations	16.916 13	Versement à la Société Nouvelle	41.164 45	33.000 »
33.000 »	Versement de l'Ecole pour la reconstruction	41.164 45	Entretien de la Bibliothèque	3.730 55	7.500 »
			Frais de représentation	898 95	2.400 »
			Frais d'administration	3.749 34	2.500 »
1.000 »	Souscriptions	981 30	Frais de correspondance	1.800 35	1.700 »
500 »	Recettes diverses	590 01	Personnel	27.170 46	22.500 »
			Pensions	8.400 »	8.400 »
			Amortissements	10.000 »	
				122.030 23	89.500 »
			Solde créditeur	22.777 89	27.000 »
116.500 »		144.808 12		144.808 12	116.500 »

A et B. — *Immobilisations* (*Voir au Bilan*).

Les Services ont reçu au cours de l'année pour versement du 1/10e du revenu de l'Ecole	3.752 97
Les Services ont reçu pour cotisations libérées à porter au fonds social	1.600 »
Il a été prélevé sur la subvention du Comité des Chemins de fer pour versement du 4e quart sur actions Société Nouvelle	34.500 »
La Société a cédé des actions de la Société Nouvelle pour	4.500 »
Il a été versé (sur les intérêts) au fonds social la retenue statutaire 1/10 + le versement du 10e de l'Ecole et + les cotisations libérées	8.981 12
Il a été prélevé sur la Réserve générale pour l'attribution de la Médaille Muscart	3.611 80
Par contre, cette même Réserve générale a été créditée de plusieurs reliquats de comptes pour	1.292 30
Enfin la Société a reçu pour subventions avec affectation spéciale	90.000 »

Digitized by Google

BILAN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Résultats 1926	ACTIF		1re, 2e, 3e et 4e parties.	PASSIF		Résultats 1926
43.135 40	Bibliothèque et mobilier	48.355 20		Avances	443.356 65	493.634 20
5.703.974 63	Constructions	8.010.208 68		Créanciers	7.083.126 09	4.322.187 73
2.128.471 59	Matériel	3.785.236 80		Amortissement général	286.021 20	147.715 60
2.106.349 79	Débiteurs divers	2.532.774 11		Amortissement du portefeuille	227.685 83	181.689 79
1.117.391 52	Portefeuille	1.371.806 66		Réserves	6.364.803 74	3.700.899 43
1.442.144 43	Caisse et Banques	2.692.878 42		Capital	4.036.266 36	3.695.340 61
12.541.467 36		18.441.259 87			18.441.259 87	12.541.467 36

Digitized by Google

Tableaux de développement du Bilan 1927 de la Société Française des Electriciens.

1re Partie. — Laboratoire.

Résultats 1926	ACTIF			Résultats 1926	PASSIF			
2.975 40	*Bibliothèque et mobilier :*				*Créditeurs*		47.904 65	45.842 95
	Bibliothèque		2.975 40		*Amortissements :*			
	Constructions :				Matériel :			
	Constructions	529.462 63			Antérieurs	56.567 20		
528.514 63	Canalisations	2.277 »	531.739 63		1927	32.000 »	88.567 20	56.567 20
	Instruments et matériel :				Constructions :			
	Antérieurs	642.863 54			Antérieurs	31.487 15		
	1927. Acquisitions	19.835 65			1927	15.000 »	46.487 15	31.487 15
642.863 54	Dons en nature	2.900 »	665.599 19		*Réserves :*			
	Salle Haute Tension :				Réserve pour salle haute tension :			
	Antérieurs	62.988 10			Subventions travaux publics	398.000 »		
62.988 10	1927	43.332 18	106.320 28		moins dépenses : antérieures. 62.988 10 en 1927 ... 43.332 18			
	Caisse et Banque :					106.320 28	291.679 72	215.011 90
1.937 45	Caisse		185.721 35		Souscriptions en réserve		1.597 26	7.954 10
540 »	Cautionnements		640 »		Souscriptions sur taxe d'apprentissage 1928		157.769 75	
363.206 85	*Débiteurs divers*		450.440 32					
1.603.125 97			1.943.436 17				634.005 67	356.863 30

Actif	1.943.436 17
Passif	634.005 67
Excédent de l'Actif	1.309.430 50

Digitized by Google

Résultats 1926	ACTIF			PASSIF			Résultats 1926
	Constructions rue de Staël :			*Avances :*			
90.216 20	Constructions	90.216 20		Redev. Elèves 28	210.000 »		
2.745 50	Canalisations	2.745 50	92.961 70	Autographies 28	64.912 65		
				Redev. Radio 28	162.930 »	437.842 65	466.292 20
458.705 70	*Instruments et matériel de la rue de Staël*		487.767 80				
				Créanciers		122.257 »	38.502 65
	Marchandises en transit		1.096 70	*Amortissement du Portefeuille*		77.982 56	77.982 56
1.700.724 16	*Débiteurs divers*		1.997.297 38	*Profits et pertes sur valeurs mobilières* ..		35.996 04	
	Caisse et Banques :			*Amortissement du matériel et des constructions :*			
8.758 47	*Caisse*	2.079 97		Constructions	92.961 70		
143 35	Cautionnement	143 35	2.223 32	Matériel	58.005 15	150.966 85	59.661 25
	Portefeuille :			*Réserve :*			
129.994 »	Fonds de réserve		163.007 »	Réserve Radio		37.678 35	37.678 35
351.614 »	Fonds disponibles		432.947 »	Souscription sur taxe d'apprentissage 1928		1.000 »	
77.982 56	Compte dépréciation des valeurs		»				
2.820.883 91			3.177.300 90			863.723 45	680.117 01

Actif	3.177.300 90
Passif	863.723 45
Excédent de l'Actif	2.313.577 45

Digitized by Google

3e Partie. — Reconstruction Ecole.

Résultats 1926	ACTIF			PASSIF			Résultats 1926
				§ 1. — *Souscription d'actions.*			
	Portefeuille :			*Réserve :*			
130.000 »	Actions souscrites par la S. F. E. à la S. N.	139.000 »		Comité des chemins de fer et divers		550.582 69	170.050 »
	MM. Janet et autres	6.000 »	145.000 »				
				§ 2. — *Opérations diverses.*			
	Débiteurs divers :			*Réserve :*			
35.971 98	Intérêts sur avance de la S. N.	74.611 43		Versements Ecole		79.655 43	38.490 98
2.610 65	Société nouvelle, compte de remboursement d'avances	5.266 18	79.877 61				
				§ 3. — *Travaux et Matériel.*			
	Constructions			*Réserve :*			
1.279.688 50	Terrain		1.279.688 50	Subvention de l'Etat	3.150.426 »		1.924.905 »
3.534.914 80	Constructions	5.766.923 85		Subvention de la Ville et du Département	2.000.000 »	5.150.426 »	1 200.000 »
267.895 »	Honoraires des architectes	338.895 »	6.105.818 85				
963.914 25	*Matériel*	2.513.253 38		*Créanciers :*			
	Déménagement	9.903 45	2.523.156 83	Société nouvelle, ses avances		4.675.448 70	2.550.000 »
6.214.995 18			10.133.541 79			10.456.112 82	5.883.445 98

Actif	10.133.541 79
Passif	10.456.112 82
Excédent du Passif	322.571 03

Digitized by Google

Résultats 1926	ACTIF			PASSIF		Résultats 1926
	Bibliothèque et mobilier :			*Avances :*		
1.900 »	Mobilier	3.389 80		Cotisations anticipées	5.514 »	27.342 »
38.260 »	Bibliothèque	41.990 »	45.379 80			
	Matériel :			*Créanciers :*		
	Fonds journée Pasteur		1.296 »	Divers	2.337.515 74	1.687.842 13
	Portefeuille :					
	Fonds de réserve :			*Amortissement du Portefeuille :*		
89.938 19	Valeurs mobilières	126.525 33		Amortissement	113 707 23	103.707 23
16.397 11	Espèces	14.641 38	141.166 71			
73.375 58	Fonds disponibles		196.304 56	*Réserve :*		
124.437 84	Compte dépréciation du portefeuille		44.410 50	Réserve générale	34.483 55	36.803 05
	Legs et fondations :			Réserve pour étalon de lumière blanche	24.028 »	24.103 »
	Legs Hughes	41.477 50		Réserve pour concours	25.903 05	25.903 05
	Legs Cheux	44.300 10		Réserve pour souscription avec affectation spéciale		20.000 »
	Fondation Cohen	4.234 37				
	Fondation Joubert	7.520 65				
	Caisse	»				
	Fondation Guyau	39.600 »				
	Legs Ancel	10.821 33				
	Caisse	»				
	Bourse Frantz Hueber, Regnault	69.575 »				
123.652 24	Bourse Guinochet	31.442 »	248.970 95	*Subvention Laboratoire de mesures*	10.000 »	
	Caisses et Banques :				2.451.151 57	1.925.709 46
	Caisse	84.457 16				
	Crédit Lyonnais	40.841 42				
	Crédit commercial	2.360.857 33				
	Chèques postaux	18.096 54		CAPITAL	4.036.266 36	3.695.340 61
1.430.655 16	Caisse dépôts	41 30	2.504.293 75			
3.836 15	*Débiteurs divers*		5.158 80			
1.902.462 27			3.186.981 01		6.487.417 93	5.621.041 07

Actif	3.186.981 01
Passif (capital déduit)	2.451.151 57
Excédent de l'actif	735.829 44

Digitized by Google

RAPPORT ANNUEL SUR LE LABORATOIRE CENTRAL ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

Par Paul JANET,

Directeur.

I. — Laboratoire central d'Electricité.

1° *Personnel.* — Le personnel du Laboratoire en 1927 a compris 17 personnes : ce nombre est identiquement le même qu'en 1926; il était de 21 en 1913; on voit que malgré l'importance croissante des travaux qui nous sont confiés, nos moyens d'actions sont encore inférieurs à ce qu'ils étaient avant la guerre et nous interdisent de développer autant que nous le voudrions les travaux de recherches qui doivent obligatoirement faire partie du programme d'un établissement comme le nôtre.

Comme l'an dernier nous avons à déplorer le manque de stabilité de ce personnel : en dehors de nos très dévoués Sous-Directeur et Sous Directeur adjoint, MM. Jouaust et de la Gorce, nous voyons se succéder dans nos services un grand nombre de jeunes ingénieurs, en général diplômés de l'Ecole Supérieure d'Electricité, qui passent au plus quelques années, souvent même quelques mois parmi nous, au grand détriment de la continuité de nos travaux; la période d'initiation et d'apprentissage à la difficile discipline des mesures précises prend une importance relative exagérée par rapport au temps où les services rendus peuvent nous être réellement utiles, et finalement le rendement est très inférieur à ce que nous pourrions espérer si nos ressources pouvaient nous permettre de nous attacher, par des traitements convenables et des chances suffisantes d'avenir, au moins une certaine fraction de ce personnel trop mobile.

2° *Matériel.* — Nous n'avons à signaler, comme acquisition de matériel courant, que deux condensateurs de précision, quelques résistances de précision pour la mesure des courants et un moteur à courant alternatif destiné à la commande de la génératrice de charge de nos batteries d'accumulateurs.

Digitized by Google

Un certain nombre de dons ont été faits au Laboratoire : par la Société de la lampe Yvel, d'une pompe de Gaëde, par la Société industrielle pour la fabrication des appareils de mesure, d'un ampèremètre, Enfin, le Président de notre commission administrative a fait réaliser gracieusement par les ateliers des anciens établissements Sautter-Harlé, un appareil pour l'étude de la répartition de l'intensité lumineuse des lampes, appareil imaginé par le personnel du Laboratoire. Nous adressons nos plus vifs remerciements à ces généreux donateurs.

3° *Installations nouvelles.* — Dans mes précédents rapports, j'ai signalé qu'en 1925-1926 et 1927 nous avions reçu du Ministère des Travaux Publics (Comité d'études et de recherches pour l'aménagement des forces hydrauliques) des subventions destinées à l'organisation d'une salle pour les essais haute tension. Nous devions disposer dans cette salle d'une tension de 300 000 V avec 200 kVA. Je puis signaler aujourd'hui que le transformateur et les autotransformateurs destinés à son alimentation par branchement direct sur le secteur nous ont été livrés; leur montage est terminé et la nouvelle installation est actuellement en service.

Il nous reste maintenant à perfectionner le dispositif d'essais sous pluie artificielle, à acquérir un appareil pour l'essai simultané des isolateurs à la traction et à la tension électrique, à procéder au montage de l'appareil destiné aux essais de choc, appareil qui a été commandé mais n'a pas encore été livré.

Le point le plus délicat est la réalisation d'un dispositif permettant de mesurer exactement les tensions élevées que nous pouvons mettre en jeu. L'appareil destiné à ces mesures est en construction suivant un principe indiqué par M. de la Gorce.

4° *Essais.* — Le nombre total des essais effectués en 1927 s'est élevé à 1551 contre 1193 en 1926. Les recettes pour essais ont passé de 383 600 fr. en 1926 à 474 100 fr. en 1927. Pour la première fois depuis de longues années, les recettes du Laboratoire ont été supérieures aux dépenses. C'est un état de choses dont il semble qu'on ait lieu de se féliciter. Nous devons pourtant faire quelques réserves. Nous ne sommes arrivés à ce résultat que grâce à l'importance de certains essais que nous avons exécutés, mais précisément l'exécution matérielle de ces essais a occupé, d'une façon extrêmement absorbante, le personnel du Laboratoire, ne lui laissant qu'un temps insuffisant

Digitized by Google

pour la vérification de ses propres appareils et l'amélioration de ses méthode de mesure.

Nous avons à peine besoin d'insister sur le danger d'une pareille situation : il faut bien que l'on sache que ce qui fait la valeur et l'autorité d'un établissement comme le nôtre, c'est non seulement le travail que l'on voit au dehors, mais, au moins autant, le travail journalier d'études et de recherches qui se fait au dedans : il est sans exemple qu'un Laboratoire puisse vivre uniquement de ses propres ressources; d'importantes subventions lui sont nécessaires; l'oublier serait condamner le Laboratoire à perdre sa principale raison d'être : la conservation et le perfectionnement constant des étalons et des mesures électriques.

Nous donnons ci-dessous la répartition des essais dans les diverses catégories :

	1926	1927
Lampes à incandescence	304 (1)	439 (2)
Fers et tôles	69	167
Systèmes d'éclairage divers	72	136
Haute tension	144	102
Voltmètres	84	93
Ampèremètres	81	80
Transformateurs	66	58
Piles	67	47
Résistivités { Conducteurs	31	42
Résistivités { Isolants	21	14
Compteurs divers	52	37
Machines	12	21
Wattmètres	48	19
Compteurs Ministère	11	16
Isolements	8	6
Oscillographes	8	5
Accumulateurs	5	4
Paratonnerres	1	2
Divers	109	263
	1193	1551

Parmi les travaux les plus importants que nous avons effectués en 1927, nous devons signaler les essais d'interrupteurs à huile, organisés par l'Union des syndicats d'Electricité et exécutés à l'usine nord de la C. P. D. E.

Dans ces essais qui ont duré du 7 mars au 2 mai, 26 appareils ont été essayés, plus de 400 oscillogrammes ont été relevés.

(1) Portant sur 810 lampes.
(2) Portant sur 993 lampes.

Digitized by Google

Nous rappelons que ces essais consistaient en la rupture, pour l'appareil examiné, d'un court-circuit provoqué sur une machine de 10 000 kVA excitée de manière à donner à vide 12 000 V efficaces. Dans certains cas, deux alternateurs en parallèle ont même été utilisés.

Les essais d'endurance sur plateforme trépidante d'accumulateurs de traction organisés par l'Union des Syndicats d'Electricité et dont nous avions déjà fait mention dans notre rapport de 1926, ont continué jusqu'à la fin de décembre de 1927. Plus de 400 décharges ont été effectuées.

Signalons enfin la continuation des essais d'accumulateurs de sous-marins dans le local et avec l'installation établie spécialement dans ce but grâce à l'aide financière du Ministère de la Marine.

L'importance attachée aujourd'hui à tout ce qui touche la science de l'éclairage nous a amené de nombreuses déterminations de répartition lumineuse d'appareils divers (réflecteurs, diffuseurs, phares, etc...).

Dans le même ordre d'idées, le Laboratoire a été chargé par la commission du Ministère des Travaux Publics de l'examen des projecteurs d'automobile présentés à l'approbation ministérielle pour être considérés comme dispositifs antiéblouissants, conformément aux prescriptions du code de la route. Un dispositif, imaginé par le personnel du Laboratoire, permet cette vérification d'une façon suffisamment précise. Une dizaine d'appareils ont été examinés de cette façon, mais, sur le vu de nos résultats, un très petit nombre a pu être accepté par la Commission ministérielle. Signalons en passant que les vastes terrasses de la nouvelle Ecole nous ont été précieuses pour l'exécution de ces mesures.

Parmi les essais divers, signalons de très nombreux essais magnétiques demandés au Laboratoire par une importante maison de construction qui a bien voulu nous confier le contrôle de toutes les tôles qu'elle emploie; des essais de réception de redresseurs à mercure destinés à la Compagnie du chemin de fer métropolitain, de turbo-alternateurs dans les usines de la C. P. D. E., d'une installation de 300 000 V dans une importante fabrique de câbles, de très nombreux essais de substances isolantes et de transformateurs de mesure, et enfin de délicats relevés oscillographiques sur un réseau de province, destinés à rechercher l'origine de surtensions se produisant dans un réseau.

5° *Recherches.* — Comme nous l'avons dit plus haut, le temps laissé

Digitized by Google

à notre personnel en dehors des essais courants est insuffisant pour espérer pouvoir entreprendre des recherches de quelque importance.

Parmi ces recherches, celles qui se présentent aujourd'hui avec un certain caractère d'urgence sont celles qui sont relatives à la reprise des études internationales sur les Unités et Etalons électriques auxquelles, on s'en souvient, le Laboratoire a toujours tenu à prendre une part active.

La conférence internationale des Poids et Mesures, qui s'est réunie à Paris en septembre et octobre derniers, a en effet décidé la formation d'une sous-commission où le Laboratoire Central est représenté, et qui est chargée d'étudier dans quelles conditions la question des unités électriques pourra être rattachée au Bureau de Breteuil. De nombreux travaux d'intercomparaisons entre les Laboratoires nationaux vont devenir nécessaires; il est indispensable que le Laboratoire puisse y participer : nous avons, dans ce but, réservé de vastes sous-sols, très stables et très secs, dans les nouveaux locaux de Malakoff. Une subvention spéciale, prise sur les fonds de la journée Pasteur, va nous permettre de les aménager et nous avons tout lieu d'espérer que les ressources nécessaires à la reprise de ces travaux ne nous feront pas défaut.

En attendant nous continuons, dans la mesure du possible, nos travaux de comparaisons partielles : j'avais déjà signalé, dans mon précédent rapport que le Laboratoire Central avait eu l'occasion d'exécuter des mesures sur des éléments provenant du Bureau Central des Poids et Mesures de la république russe. De semblables comparaisons ont été effectuées dans les autres laboratoires nationaux et leurs résultats ont fait l'objet d'un rapport présenté à la Commission internationale des Poids et Mesures.

En tenant compte d'une correction qu'il convient d'apporter à nos mesures pour tenir compte du fait que nous employons du sulfate mercureux préparé par électrolyse alternative, et non par électrolyse continue, on arrive aux conclusions suivantes :

La force électromotrice de la moyenne des éléments étalons servant de base au Laboratoire Central d'Electricité est inférieure de + 13 microvolts à celle des éléments du National Physical Laboratory et à + 6 microvolts à celle des éléments du Bureau of Standards.

Elle est supérieure de 48 microvolts à celle des éléments de la Physikalish technische Reichanstalt et de 50 microvolts à celle des éléments de la Chambre des Poids et Mesures.

Digitized by Google

Nous mentionnerons également que M. Jouaust a continué à collaborer aux recherches pour l'établissement d'un étalon de lumière blanche basé sur les propriétés du corps noir, en prenant part avec MM. J. Chappuis et Abraham à l'organisation des travaux effectués dans ce but au Laboratoire de recherches physiques de la Compagnie du gaz par MM. Gouffé et Simonin.

MM. Jouaust et Waguet ont également profité de quelques instants que leur laissaient libres leurs occupations habituelles pour utiliser le corps noir dont il vient d'être question à l'étalonnement du pyromètre optique destiné à la mesure de la température du filament des lampes à incandescence. Certaines anomalies relevées au cours de ces recherches serviront sans doute à expliquer un certain nombre de difficultés rencontrées dans la réalisation de l'étalon de lumière blanche.

6° *Collaboration du Laboratoire avec les Sections du Comité de la Société et avec l'Union des Syndicats d'Electricité.* — Notre personnel a pris une part active aux discussions qui ont eu lieu dans les sections de la Société française des Electriciens et dans certaines commissions de l'Union, en particulier la compétence bien connue de M. de la Gorce en matière d'isolants a été mise à maintes reprises à contribution par les commissions de l'Union. Aux séances d'octobre de notre Société, M. Waguet a présenté un rapport sur les différents procédés pour la mesure des coefficients de réflexion diffuse.

7° *Souscriptions.* — Nous avons signalé à maintes reprises combien les difficultés financières auxquelles nous nous heurtons sont nuisibles au développement du Laboratoire.

Nous avons pensé y remédier en faisant un appel plus large que nous ne l'avions fait jusqu'ici à l'industrie électrique et au mois de novembre 1927 nous avons lancé une circulaire demandant aux industriels de vouloir bien remettre directement au Laboratoire Central une partie de la taxe d'apprentissage pouvant être attribuée à des établissements de ce genre. Beaucoup ont répondu à cet appel pourtant tardif et les résultats de cette première souscription nous donnent le meilleur espoir pour notre budget de 1928.

Grâce à ces subventions, grâce à l'extension que nos services vont pouvoir prendre en s'étendant dans les locaux abandonnés par l'Ecole rue de Staël, nous pouvons espérer avoir enfin franchi la période difficile qui a marqué ces dernières années, et voir s'ouvrir, pour le Laboratoire, une nouvelle ère de développements et de progrès.

Digitized by Google

II. — Ecole supérieure d'Electricité.

I. — Inauguration des nouveaux batiments de l'école et remise de la croix de guerre.

On n'a pas oublié ces belles cérémonies du 10 novembre présidées par M. le Président de la République, assisté de M. le Ministre de l'Instruction Publique, Herriot et de la Guerre, Painlevé. Une publication spéciale en rapportera tous les détails. Nous ne faisons que les rappeler ici.

II. — Matériel.

Le principal événement de l'année 1927 a été le transfert de nos services dans les nouveaux locaux de Malakoff. Toutes les vacances ont été consacrées à cette difficile opération qui s'est effectuée dans les meilleures conditions possibles, grâce au dévouement de tout notre personnel et en particulier de notre Sous-Directeur M. Guilbert et de notre Secrétaire M. Jouvion. Tout le matériel utilisable de la rue de Staël a été transporté à Malakoff, mais il ne représente qu'une très faible partie du matériel nouveau que nous avons pu acquérir grâce aux crédits qui nous ont été ouverts sur les fonds affectés à la reconstruction de l'Ecole. Nous ne pouvons songer à en donner ici tout le détail, nous réservant de décrire, dans une publication spéciale, les installations de la nouvelle Ecole. Nous signalerons seulement les points suivants :

Atelier. — Nous avons pu réaliser partiellement l'installation d'un atelier de mécanique de précision, doté de machines modernes (fraiseuses, tours de précision, machines à rectifier, etc...) et destiné à nous permettre de construire nous-mêmes les appareils nécessaires à certaines recherches. Le besoin de ces développements se faisait depuis longtemps sentir, et nos élèves tireront le plus grand profit du maniement de ces machines-outils qui leur donneront au moins une première idée des méthodes de construction des ateliers modernes.

Essais de Machines. — En dehors des machines destinées aux essais courants, nous avons installé deux groupes de deux dynamos freins d'une puissance de 40 kW chacun qui permettent d'effectuer dans de

Digitized by Google

bonnes conditions expérimentales les méthodes d'essais de deux machines identiques montées en récupération.

Nous avons également installé dans la même salle deux groupes construits par les Ateliers de Jeumont sur les indications de M. Langlois, et permettant d'étudier très complètement le fonctionnement des machines monophasées à collecteur.

Mesures. — Nous avons entièrement réorganisé notre salle de mesure en y installant un tableau spécial permettant de distribuer à chaque table les courants nécessaires dans les conditions les plus variées de tension et d'intensité. Nous avons également installé une salle de photométrie prévue de manière à y pouvoir faire tous les essais de notre section d'éclairage.

Enfin, grâce à la libéralité de la Société Nord-Lumière, nous disposons dès maintenant d'un transformateur triphasé de 100 000 V qui nous permettra d'équiper dans d'excellentes conditions une salle de démonstration en haute tension.

III. — Enseignement.

M. le Professeur Whitehead, de l'Université John Hopkins a bien voulu, en 1927, faire à l'Ecole supérieure d'Electricité un certain nombre de conférences sur les diélectriques et isolants. Ces conférences ont eu le plus grand succès auprès de nos élèves et de nos collègues. Elles ont été publiées par la Société française des Electriciens.

Grâce aux développements nouveaux de nos locaux et de notre matériel, nous avons pu supprimer le dédoublement de nos séries de manipulations auquel nous avions dû nous résigner depuis la guerre. Nos élèves consacrent ainsi la majeure partie de leur après-midi à une séance de travaux pratiques et sont mieux à même d'en retirer tout le profit désirable.

IV. — Promotion XXXIII (1926-1927).

Il a été délivré à la fin de juillet 1927, 203 diplômes se répartissant comme suit :

Officiers et ingénieurs délégués par l'Etat	28
Ingénieurs des Arts et Métiers	35
Licencié ès sciences	24
Ingénieurs des Instituts électrotechniques (Grenoble, Nancy, Toulouse)	22

Digitized by Google

Elèves étrangers diplômés d'Ecoles techniques supérieures	12
Ingénieurs civils de l'Institut industriel du Nord de la France	7
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	4
Ingénieurs des Arts et Manufactures	4
Ingénieurs civils des Mines	3
Ingénieurs des constructions civiles (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées)	2
Ingénieurs stagiaires de 1re classe de l'Ecole Centrale Lyonnaise)	2
Ingénieur de l'Ecole supérieure d'Aéronautique et de constructions mécaniques	1
Elèves reçus aux concours antérieurs et divers	12
Elèves reçus au concours de 1926	47
	203

V. — Promotion XXXIV (1927-1928).

Composition de la promotion. — La promotion en cours d'études comprend 239 élèves, en voici la composition :

Officiers et ingénieurs délégués par l'Etat	30
Ingénieurs des Arts et Métiers	40
Ingénieurs des Instituts Electrotechniques (Grenoble, Toulouse)	35
Licencié ès sciences	19
Etrangers diplômés d'Ecoles techniques supérieures	17
Ingénieurs des Arts et Manufactures	5
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	3
Ingénieurs civils des Mines (à titre étranger)	2
Ingénieurs des constructions civiles (Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 1 à titre étranger)	2
Ingénieurs de l'Ecole centrale Lyonnaise	2
Ingénieurs civils de l'Institut industriel du Nord de la France	2
Ingénieur civil des constructions navales (Ecole d'application du Génie maritime)	1
Ingénieur de l'Ecole supérieure d'Aéronautique et de Constructions mécaniques	1
Elèves reçus au concours de 1927 (173 candidats)	62
Divers	8
	229

5 jeunes filles figurent parmi nos élèves réguliers.

A ces élèves, il convient d'ajouter un auditeur libre qui suit une partie de notre enseignement.

VI. — Relations de l'École avec l'université.

Le nombre des étudiants de la Faculté des Sciences inscrits en 1926-1927 aux cours et travaux pratiques du certificat d'Electrotechnique

Digitized by Google

Générale, a été de 97 contre 64 en 1925-1926 ; 13 certificats ont été délivrés en juillet et 4 en octobre. Depuis 1919, année de la création du cours, il a été délivré 142 certificats; le nombre total des inscriptions se montant à 494, on voit que nous tenons à maintenir à un niveau élevé ce certificat qui, on le sait, joint avec deux autres certificats d'études supérieures, confère le grade de licencié ès sciences.

De même que l'année dernière, la Faculté des Sciences a réservé sur le produit de la taxe d'apprentissage une somme de 50 000 fr. pour la chaire d'Electrotechnique générale. Ce crédit nous a permis de procéder à l'achat des meubles destinés au Laboratoire de recherches rattaché à cette chaire, et laisse un certain reliquat qui sera employé ultérieurement.

VII. — Préparation militaire.

Les cours de préparation militaire supérieure (3e groupe) ont été assurés en 1926-1927 par le Commandant Faure, sous la haute direction du Général Jouvin et du Colonel Hauser.

Le brevet supérieur de préparation militaire qui est la sanction de cet enseignement, permet à nos anciens élèves d'accéder au grade d'officier de réserve au cours de leur service actif.

Pendant l'année scolaire 1926-1927, 62 élèves de l'Ecole ont été inscrits à ce cours, 23 ont passé le concours du brevet supérieur de préparation militaire, et 13 l'ont obtenu dans des armes diverses.

VIII. — Anciens élèves.

Le nombre total d'anciens élèves ayant passé par l'Ecole (non compris la promotion actuelle) est de 3 665, sur lesquels 3 209 ont obtenu le diplôme. Ces derniers se répartissent ainsi :

Officiers et Ingénieurs de l'Etat	467
Ingénieurs des Arts et Métiers	471
Licenciés ès sciences	402
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	207
Ingénieurs des Arts et Manufactures	203
Elèves étrangers diplômés d'Ecoles techniques supérieures	178
Ingénieurs sortant d'écoles diverses (Centrale Lyonnaise, Physique et Chimie, Instituts Electrotechniques, Institut Industriel du Nord de la France, Aéronautique, etc.)	184
Ingénieurs civils des Mines, Ponts et Chaussées, Constructions navales	41
Elèves reçus aux concours et divers	1056
	3209

Digitized by Google

IX. — Section de radiotélégraphie.

Il a été décerné à la fin de juillet 1927, 49 diplômes d'ingénieurs radiotélégraphistes et 3 certificats d'études de radiotélégraphie.

XIII^e *session* (1927-1928). — *Composition de la promotion.*

La session en cours d'études comprend 65 élèves, en voici la composition :

Officiers désignés par le Ministère de la Guerre :	
Génie	1
Infanterie	1
Infanterie coloniale	2
Aéronautique	4
Officiers et ingénieurs désignés par le Ministère de la Marine	4
Ingénieur désigné par le Ministère du Commerce et de l'Industrie (section de l'aéronautique)	1
Ingénieur délégué par l'Ecole Supérieure des Postes et des Télégraphes	1
Officiers et ingénieurs délégués par les Gouvernements étrangers (1)	16
Elèves civils (français et étrangers)	35
	65

A ces élèves il convient d'ajouter 5 auditeurs libres (2) qui suivent tout ou partie de notre enseignement.

Le nombre d'anciens élèves brevetés et diplômés de la section de radiotélégraphie est de 478.

---

(1) Classement par nationalités des délégués étrangers à la section de radiotélégraphie :

Argentine : Officier de l'armée de terre	1
Belgique : Ingénieur de l'aéronautique	1
Danemark : Officier de l'armée de terre	1
Espagne : Officiers de marine	2
Espagne : Ingénieurs des télégraphes	2
Lettonie : Officier de l'armée de terre	1
Norvège : Officier de l'armée de terre	1
Perse : Fonctionnaires des télégraphes	2
Pologne : Officier de l'armée de terre	1
Roumanie : Officier de l'armée de terre	1
Tchécoslovaquie : Officier de l'armée de terre	1
Yougoslavie : Officiers de l'armée de terre	2
	16

(2) Auditeur libre :

Japon : Ingénieur militaire	1

Digitized by Google

X. — Section d'éclairage.

La quatrième session de notre section d'éclairage s'est ouverte le 14 février 1927 et a été suivie par 23 élèves de l'auditeur; 20 élèves ont obtenu le certificat d'études d'éclairage.

XI. — Société amicale des ingénieurs de l'école supérieure d'électricité.

Dans nos nouveaux locaux à Malakoff, cette société, à qui nous avons réservé de spacieux bureaux, continue à progresser. Elle comprend actuellement plus de 1 700 membres et rend les plus grands services à nos anciens élèves par la solide organisation de son service de placement et à ses élèves en cours d'études par sa caisse de prêt. Cette caisse si intéressante est loin d'avoir encore toutes les resosurces qui lui sont nécessaires : je ne saurais trop attirer sur elle l'attention de ceux de nos Collègues qui seraient disposés par une générosité bien placée à lui apporter un large et utile concours.

Telle a été, mes Chers Collègues, résumée en quelques pages, la vie en 1927 des deux Institutions sœurs dont notre Société peut être fière : notre Ecole est en plein développement et en pleine prospérité, souhaitons que les années qui vont venir voient se réaliser des progrès analogues pour notre Laboratoire.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

LES LIGNES ÉLECTRIQUES EN CABLES A 132 000 VOLTS DE NEW-YORK ET DE CHICAGO [1]

par M. Emanueli,
Directeur de la Câblerie Pirelli à Milan.

Pendant l'été de 1926, la New-York Edison Company qui avait suivi avec intérêt l'expérience faite en Italie à Brugherio d'une ligne en câble à 130 000 volts, demanda aux principaux fabricants de câbles, d'étudier une ligne longue d'environ 19 kilomètres qui devait être installée à New-York.

La ligne devait être capable de transporter 90 000 kVA à la tension de 132 000 volts.

Seule la Société Pirelli, d'accord avec la General Electric Company, qui à cette époque avait acheté les brevets Pirelli pour l'Amérique, se déclara prête à réaliser cette installation, et le contrat fut conclu.

Quelques mois après, la Commonwealth Edison de Chicago, transmettait aux deux Sociétés « Pirelli » et « General », la commande pour une ligne d'une longueur d'environ 10 kilomètres ayant les mêmes caractéristiques que celle de New-York et destinée à être installée à Chicago

Les deux lignes ont été entièrement étudiées et en partie fabriquées par la Société Pirelli, tandis que l'autre partie fut fabriquée par la General Electric, aidée par du personnel italien.

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la Société Française des Electriciens du 3 mars 1928.

Digitized by Google

Les accessoires spéciaux furent tous construits en Italie.

La ligne de New-York, fig. 1, se détache de la station génératrice de Hell Gate et traversant le quartier de Bronx arrive à la sous-station

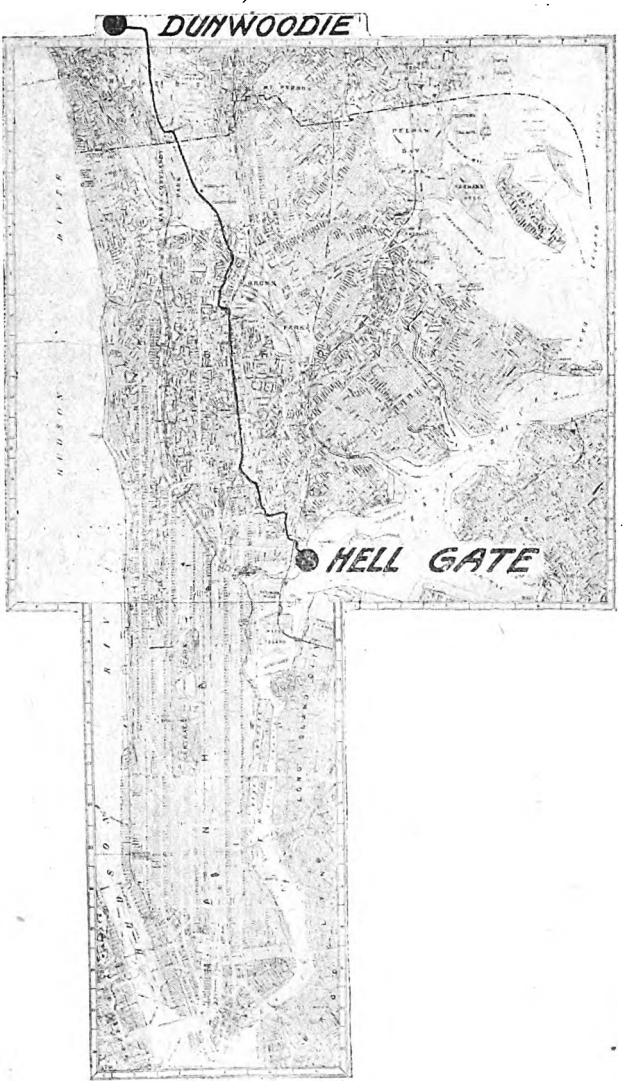


Fig. 1. — Tracé du câble à New-York.

de Dunwoodie où elle est connectée avec les lignes aériennes qui alimentent les villes de Yonker et de Westchester County pour se relier plus tard avec les lignes provenant du Saint-Laurent. Celle de Chicago

Digitized by Google

réunit la station génératrice de Northwest avec une ligne aérienne longue d'environ 50 kilomètres, se détachant de la limite de la ville et qui sert de jonction entre la Northwest Station de la Commonwealth Company et la station de Waukegan de la Public Service Company du Northern Illinois.

Au moment de la commande des deux lignes, l'état des connaissances relatives aux câbles en papier imprégné était bien différent de celles d'aujourd'hui, mais seulement dans ce sens, qu'aujourd'hui on sait avec certitude qu'une des principales raisons des accidents dans les câbles à très haute tension, est la présence de bulles gazeuses dans la masse du diélectrique, tandis qu'auparavant presque personne n'en était convaincu.

Les bulles gazeuses dans le diélectrique se forment en partie pendant la construction, et en partie pendant le fonctionnement.

Pendant la construction, le vide que l'on peut obtenir dans les bassins d'imprégnation n'est jamais parfait, et le mélange qui est employé pour l'imprégnation, contient en solution une grande quantité de gaz qui se dégage pendant l'opération.

En outre le câble est encore chaud lorsqu'on le recouvre du tube de plomb, et la contraction du mélange isolant lors du refroidissement contribue à former des nouvelles zones de vide.

Pendant le fonctionnement une nouvelle cause de formation de bulles gazeuses se présente. La charge que le câble supporte, le chauffe, obligeant ainsi le mélange isolant à se dilater ; ce dernier force le tube en plomb et le dilate à son tour. Le plomb n'étant pas élastique, un refroidissement ultérieur produit de nouveaux foyers de vide. La grandeur de la contraction est notable. Dans un câble à 66 000 volts, le refroidissement succédant à la pleine charge donne lieu à un volume de 16 litres par kilomètre. Evidemment, les variations de température du milieu dans lequel le câble est posé, produisent les mêmes conséquences.

Quels sont les points du câble dans lesquels vont se former ces zones de vide? En général dans l'endroit où l'isolant est moins compact, dans l'intervalle entre le plomb et l'isolant, spécialement si le tuyau de plomb est boursouflé par les plis produits par le maniement pendant la pose. Dans les câbles triphasés le point généralement le moins imprégné se trouve entre les conducteurs et les bourrages.

En règle générale, on peut penser que le mélange a une plus grande tendance à remplir par capillarité les intervalles de petite dimension que ceux de plus grande dimension. Un phénomène assez

Digitized by Google

important est en outre le drainage du mélange des points les plus élevés du câble vers les points les plus bas.

Sans doute, la distribution de ces zones gazeuses est tellement irrégulière qu'il est impossible de l'étudier exactement, et par suite les valeurs des coefficients de sécurité sont assez problématiques.

Le problème est assez semblable à l'étude des propriétés mécaniques d'un matériel qui peut renfermer de nombreuses bulles distribuées selon une loi presque inconnue.

Les efforts des constructeurs dans ces dernières années peuvent être caractérisés par la recherche d'un diélectrique le plus compact possible, afin d'éviter la formation de zones considérables privées de mélange.

Il est évident que s'il était possible de répartir la totalité de la zone inévitablement vide, à câble froid, sur toute la masse de l'isolant, sous la forme d'une grande quantité de petites bulles, de dimensions infiniment petites, non seulement le diélectrique serait meilleur, mais il serait aussi uniforme indépendamment de son épaisseur.

Mais, comme nous l'avons dit auparavant, le manque de compacité dans le diélectrique et les phénomènes de capillarité et de drainage, empêchent la distribution uniforme et il est évident que les points vides qui se forment sont d'autant plus considérables en volume, que le volume total du diélectrique est plus grand, et par conséquent les câbles à haute tension sont en conditions plus mauvaises que ceux à moyenne et basse tension.

Construire un câble pour 130 000 volts amenait donc à doubler la plus haute tension de fonctionnement atteinte jusqu'à ce jour, et en employant un volume de diélectrique plus que proportionnellement plus grand, obligeait donc à vaincre toutes les difficultés dont j'ai parlé plus haut.

Nous avons donc pensé à résoudre le problème en nous proposant de construire un câble dans lequel les cavités gazeuses ne devaient pas exister, ou au moins devaient être réduites au minimum pratiquement possible.

Pour ce qui concerne la variation de volume pendant le fonctionnement, le problème a été résolu en adoptant la construction de la fig. 2. Le conducteur, au lieu d'être formé par une corde de cuivre comme les câbles communs, renferme une cavité longitudinale qui est en communication avec des *réservoirs d'expansion* placés aux extrémités. Le mélange isolant, dilaté par la chaleur, s'écoule dans la cavité longitudinale jusqu'au réservoir d'où il revient lorsque le câble

Digitized by Google

se refroidit. Une autre forme de câble qui permet d'atteindre le même but est celle de la fig. 3, dans laquelle les caniveaux longitudinaux sont creusés dans le tube de plomb.

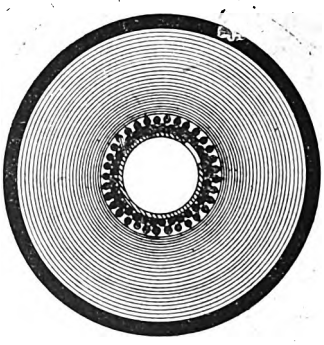


Fig. 2. — Câble avec caniveau dans le conducteur.

Le premier type de câble est celui qui a été adopté lors de l'expérience de Brugherio, ainsi que dans les lignes de New-York et de Chicago.

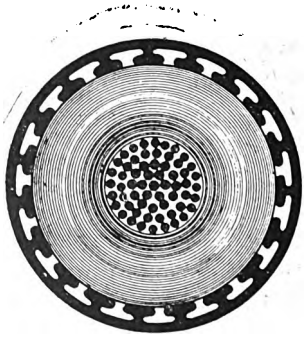


Fig. 3. — Câble avec caniveau dans le plomb.

Afin d'éviter les bulles de gaz pendant la construction, d'autres procédés ont été étudiés, soit :

1° En formant un vide parfait.

2° En employant une atmosphère de gaz facilement soluble dans le mélange isolant.

3° En employant un mélange complètement dégazéifié.

La première condition a été facilement réalisée grâce à l'existence du canal longitudinal et en imprégnant le câble après l'avoir recouvert du manteau de plomb. De cette façon, le volume dans lequel on

Digitized by Google

devait pratiquer le vide était énormément réduit par rapport à celui des bassins d'imprégnation ordinaires. Les points étanches étaient ainsi réduits aux seules extrémités du câble qui étaient soudées ensuite aux tubes de raccord. On pouvait donc employer des pompes de laboratoire qui permettaient la formation de vides bien plus élevés que ceux ordinairement atteints.

Le diélectrique, avant que commencât l'imprégnation par l'huile isolante, était soumis à un lavage fait avec de l'acide carbonique. On créait ainsi une atmosphère gazeuse soluble dans l'huile isolante.

Nous pouvons établir grosso modo qu'un volume d'huile minérale peut absorber un volume égal d'acide carbonique, tandis qu'il absorbe seulement la quatrième partie de son volume d'oxygène et un vingtième d'hydrogène. Avec l'acide carbonique, en employant une huile isolante parfaitement dépourvue de gaz, on pouvait obtenir une absorption presque complète du gaz encore existant dans le câble malgré le vide poussé.

Pour obtenir la dégazéification de l'huile isolante, on a dû étudier un appareil spécial, basé sur le principe de la subdivision de l'huile en gouttes très menues dans un milieu dans lequel est maintenu un très bon vide.

Après avoir mentionné ainsi les principes fondamentaux sur lesquels est basée la construction de ce nouveau type de câble, il est intéressant de voir comment d'autres difficultés nombreuses ont été résolues.

Il est évident qu'une ligne d'une longueur comme celle de New-York, ne pouvait pas être constituée par un seul trait alimenté par un seul réservoir à une des extrémités. La ligne devait donc être composée de sections. Chaque section de la ligne est munie aux deux extrémités d'un joint spécial qui permet le passage du courant, mais pas celui de l'huile, et est alimentée par son propre réservoir d'expansion ou d'alimentation.

Pour déterminer la longueur de chaque section, on s'est basé sur deux « critérium » différents. En premier lieu, étant donné les considérables différences de niveau existant sur le tracé, on chercha à éviter la formation de pressions statiques excessives : deuxièmement, on considéra la propagation de l'huile dans le tube central du conducteur pendant la période d'échauffement et de refroidissement du câble.

Il est évident que toute l'huile qui doit aller se rassembler dans le vase d'expansion pendant que le câble s'échauffe, s'écoule des diffé-

Digitized by Google

rents points du câble par la conduite centrale. Suivant la rapidité avec laquelle le câble s'échauffe, une chute de pression plus ou moins grande s'établit sur toute la longueur du câble. La pression sur les points les plus éloignés du réservoir d'expansion, peut ainsi par conséquent, devenir excessive.

D'autre part, pendant le refroidissement, l'huile qui doit se diriger du réservoir d'expansion vers tous les points à alimenter, peut entraîner une chute de pression le long du câble, telle qu'aux points les plus éloignés du réservoir la pression hydrostatique soit réduite à zéro. Dans ce dernier cas des zones de vide peuvent se former, et par conséquent, le diélectrique du câble peut être perforé par la tension appliquée.

Le problème est donc assez important et il a été étudié à fond.

Il peut se poser ainsi :

Si q est l'écoulement par seconde de l'huile dans le tube central du câble et si x est la distance du réservoir d'expansion lorsque le câble se refroidit, q varie d'un point à l'autre d'une quantité constante par unité de longueur

$$a = -\frac{\partial q}{\partial x}.$$

a représente la quantité d'huile qui, dans chaque unité de temps, est absorbée par l'unité de longueur du câble pendant le refroidissement. Si v est le volume de l'huile contenue dans un centimètre de longueur du câble

$$a = -\frac{\partial v}{\partial t}.$$

En supposant a constante par rapport à x et à t au moins en première approximation, on obtient immédiatement

$$q = -ax + q_0,$$

et si l est la longueur totale de la section

$$q = a(l - x).$$

Supposons maintenant que la chute de pression provoquée tout le long du tube par le mouvement du liquide, soit proportionnelle à l'écoulement

$$\frac{\partial p}{\partial x} = bq,$$

on aura de suite, en substituant la valeur de q,

$$\frac{\partial p}{\partial x} = ab(l - x),$$

Digitized by Google

et en intégrant

$$p - p_0 = ab\left(lx - \frac{1}{2}x^2\right).$$

Lorsqu'il nous intéresse de connaître la différence de pression produite par le mouvement du liquide entre deux points extrêmes de la section du câble, on a

$$p_1 - p_0 = \frac{1}{2}ab.l^2,$$

c'est-à-dire que la plus grande chute de pression est proportionnelle au carré de la longueur de la section et au produit des deux coefficients a et b.

La pression hydrostatique sur les différents points du câble sera obtenue en déduisant de la pression statique due à la différence de niveau, la chute de pression produite par l'écoulement de l'huile d'après les formules dont il a été question.

Pour le calcul des différentes sections, une méthode graphique a été particulièrement utile.

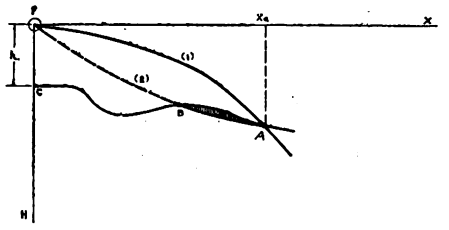


Fig. 4. — Diagramme des pressions statiques avec un seul réservoir d'expansion.

Si C, B, A, fig. 4, est le profil du tracé, le réservoir étant placé en F, et si la ligne (1) représente la chute de pression en mètres de la colonne d'huile provoquée par l'écoulement de l'huile, en supposant la section de longueur totale x, il est évident que dans le point où cette courbe rencontre la ligne du profil, elle déterminera la longueur x_a telle que toute la pression hydrostatique de l'huile est annulée par la chute de pression due au mouvement. Si la section se termine en A, l'huile se trouvera donc dans le point A à la pression atmosphérique. Si l'on suppose que la section se termine dans n'importe quel autre point, la pression dans ce point pendant le refroidissement sera donnée par la différence entre l'ordonnée correspondante au profil et celle correspondante à la courbe (1).

Digitized by Google

Une fois fixée la longueur de la section, on peut tracer une autre courbe (2) qui permet de connaître la pression dans tous les points de la même section.

Si l'on suppose que la section soit terminée en A, l'équation de cette courbe est :

$$\Pi_A = \frac{ab}{2\gamma} x_A^2 \left\{ 2\frac{x}{x_A} - \left(\frac{x}{x_A}\right)^2 \right\}.$$

Où γ représente la densité de l'huile.

On peut facilement démontrer que la pression dans chaque point du câble est donnée par la différence entre l'ordonnée correspondant au profil et celle de la courbe 2. Dans la figure on voit par exemple que le dernier trait de la section descend au-dessous de la pression atmosphérique.

On voit aussi clairement que les sections en pente se trouvent dans de meilleures conditions que celles en plan, dans lesquelles il est nécessaire, afin de pouvoir donner une longueur raisonnable à la section, de surélever le réservoir d'expansion.

Dans la période d'échauffement, les courbes 1 et 2 doivent être renversées en haut. La pression qui en résulte est naturellement supérieure à celle statique ; il faut tenir compte de sa valeur afin de ne pas forcer de façon exagérée le tube de plomb du câble.

Dans le calcul des sections de New-York et de Chicago, nous avons opéré de façon que la pression de l'huile ne pût jamais descendre au-dessous de la pression atmosphérique.

Dans certains points pourtant, on n'a pas pu limiter la section à la longueur déterminée suivant la méthode exposée et ce pour différentes raisons. Premièrement, la nécessité de faire aboutir les sections en des points favorables pour la construction de la cabine nécessaire à contenir la jonction spéciale et le réservoir d'expansion. Deuxièmement, dans quelques sections en plaine, l'utilité de ne pas avoir une longueur trop réduite. On a recouru alors à une double alimentation en plaçant à l'extrémité opposée à celle où est placé l'alimentateur, un appareil que nous avons appelé « poumon » ou réservoir de pression. Cet appareil est composé substantiellement, comme nous verrons ensuite, d'un récipient fermé dans lequel est contenu un certain volume de gaz. Lorsque le câble est en fonctionnement, le gaz se trouve sous la pression hydrostatique créée par la différence de niveau du poumon par rapport à l'alimentateur. Aussitôt que le câble se refroidit, la pression hydrostatique diminue et le gaz contenu dans le poumon se dilate, chassant l'huile dans le câble. Le calcul de cet appa-

Digitized by Google

reil est assez compliqué, et il a été exposé dans d'autres publications.

Ayant exposé ainsi les bases techniques sur lesquelles a été posé le problème du mouvement de l'huile dans le canal creusé le long du câble, nous verrons comment les deux coefficients a et b ont été déterminés.

Pour ce qui concerne le coefficient b, aucune donnée n'existait au sujet de la propagation d'un liquide visqueux tel que l'huile dans un tube. On a fait donc de nombreuses expériences avec les différentes qualités d'huile et à différentes températures en employant des tubes de plomb.

Pour les petites vitesses comme celle en jeu dans notre cas, on a trouvé que la formule de Poiseuille était encore applicable. Mais puisque dans notre cas il s'agissait d'un tube formé par une couronne de fils enveloppant la spirale, qui lui sert de support, on a fait des essais pour reconnaître l'effet produit par ce dernier.

On a donc reconnu l'opportunité de remplacer l'ancienne spirale employée dans le câble de Brugherio par une spirale qui provoquait

Fig. 5. — Spirale en cuivre à l'intérieur du conducteur.

une moindre obstruction dans la section du tube et on a adopté la spirale ayant la forme de la fig. 5.

Le coefficient a qui détermine l'expansion ou la contraction du volume d'huile dans le câble par suite de la variation de température, a été établi par les considérations suivantes :

Il est évident que les variations de température dues aux variations de la charge sont beaucoup plus importantes que celles dues aux variations de température du terrain dans lequel le câble est posé.

On a donc pris en considération seulement les premières.

Le câble peut être considéré comme divisé en trois parties :

1° Le conducteur avec l'huile contenue dans le tube ; grâce à la conductibilité du cuivre, on peut admettre que le tout est à la même température.

2° L'isolant composé de papier imbibé d'huile.

3° Le plomb.

Digitized by Google

Lorsqu'on enlève la charge, le cuivre commence à se refroidir et l'on peut considérer que, pour une première période de temps, le tube de plomb puisse rester à la même température. Le nombre de watts W dispersés par la surface du câble, reste ainsi constant pendant tout ce temps.

Nous pouvons donc écrire :

$$W = c_1 v_1 \frac{dT_1}{dt} + c_2 \int \frac{dT_2}{dt} dv_2,$$

où c_1, v_1, T_1, sont respectivement la chaleur spécifique par unité de volume, le volume et la température de l'ensemble conducteur et huile contenue, c_2, v_2, T_2, les mêmes quantités pour l'isolant.

Si nous appelons ε_1 le coefficient moyen de dilatation par degré et par unité de volume de l'ensemble conducteur et huile, et ε_2 celui de l'isolant, nous saurons que :

$$\varepsilon_1 v_1 \frac{dT_1}{dt} \qquad \text{et} \qquad \varepsilon_2 \int \frac{dT_2}{dt} dv_2,$$

représentent la variation de volume de l'huile dans le conducteur et de l'isolant dans l'unité de temps.

Appelons a_1 la première et a_2 la deuxième quantité, il reste

$$W = a_1 \frac{c_1}{\varepsilon_1} + a_2 \frac{c_2}{\varepsilon_2}.$$

Ce qui nous intéresse, c'est la somme $a_1 + a_2$ qui représente notre coefficient a.

Nous pouvons pourtant penser que dans le premier instant le conducteur seulement commencera à se refroidir, on aura ainsi :

$$W = a_1 \frac{c_1}{\varepsilon_1},$$

c'est-à-dire :

$$a = a_1 = W \frac{\varepsilon_1}{c_1}$$

Il est intéressant de noter que la valeur de a ne dépend pas du milieu dans lequel le câble est posé, mais seulement du nombre de watts dispersés par le câble. Cette considération permet de retenir la même valeur de a pour tout le tracé du câble, quelles que soient les conditions de la pose.

Après quelques instants l'isolant commence aussi à se refroidir, et si le conducteur n'existait pas, la valeur du coefficient a serait :

$$a = a_2 = W \frac{\varepsilon_2}{c_2}.$$

Digitized by Google

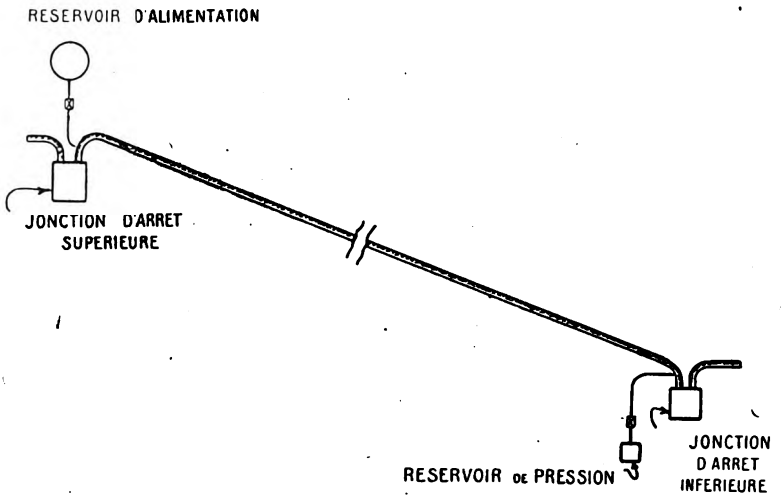


Fig. 6. — Diagramme schématique d'une section du câble.

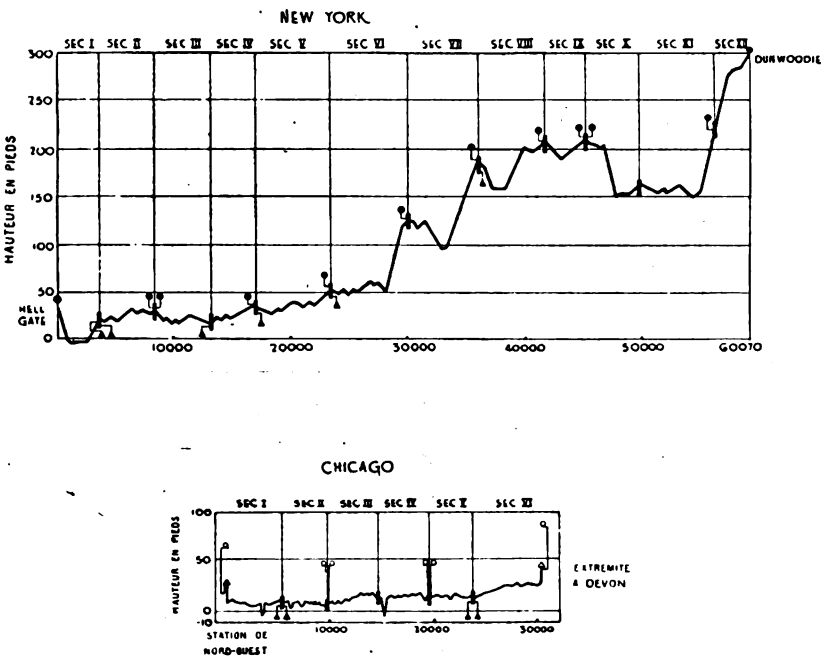


Fig. 7. — Profil des tracés des câbles à New-York et à Chicago.

l jonction d'arrêt.
o réservoir d'alimentation.
▲ réservoir de pression.

Digitized by Google

La vraie valeur sera la moyenne entre les deux calculées.

Par prudence, dans les calculs nous avons adopté, dans un premier dessin du câble, la valeur la plus grande des deux.

On construisit ensuite des bouts de câble et l'on détermina par expérience la valeur de a. Comme nous avions prévu, cette valeur était intermédiaire entre a_1 et a_2.

Sur les bases exposées, on a établi le projet des deux lignes de New-York et de Chicago. On a déterminé la longueur des sections et le diamètre de la cavité centrale du câble en cherchant à obtenir le prix le plus bas pour toute la ligne.

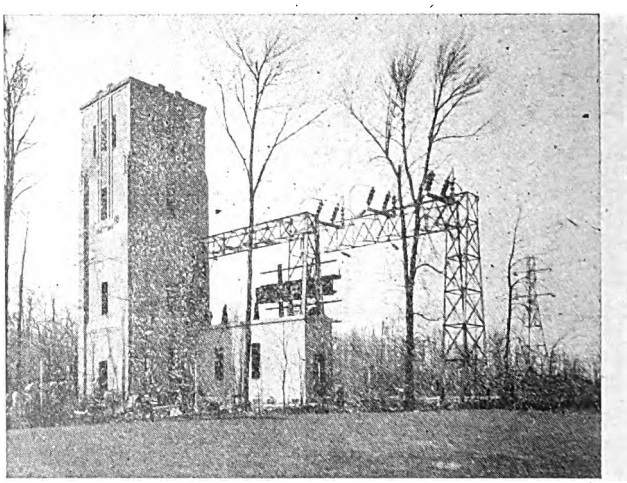


Fig. 8. — Tour pour les réservoirs à l'extrémité de la ligne à Devon (Chicago).

Chaque section de la ligne se compose essentiellement, comme le montre la fig. 6, de deux jonctions d'arrêt qui interrompent le passage central de l'huile, de façon à ce que l'huile d'une section ne communique pas avec l'huile de la section suivante ; la section est munie d'un réservoir d'alimentation qui fournit l'huile au câble. Dans des conditions spéciales elle est aussi munie d'un réservoir de pression qui concourt à une provision supplémentaire d'huile.

La fig. 7 montre le profil des lignes à 132 000 volts de New-York et Chicago. A New-York, la plus grande difficulté était présentée par la différence de niveau ; certaines sections ont dû être faites assez courtes afin d'éviter une excessive pression hydrostatique. A Chicago au contraire, le terrain étant presque plat, on dut placer les réservoirs d'alimentation à un niveau plus haut que celui du sol, afin d'obtenir

Digitized by Google

une pression suffisante même dans les points éloignés du réservoir, pendant le refroidissement du câble. Dans ce but, on a construit des tours spéciales semblables à celle représentée dans la fig. 8.

La fig. 9 montre le type de trou d'homme employé à New-York dans les points d'alimentation. Dans chacun de ces endroits il a fallu placer deux trous d'homme, un pour les jonctions d'arrêt et l'autre

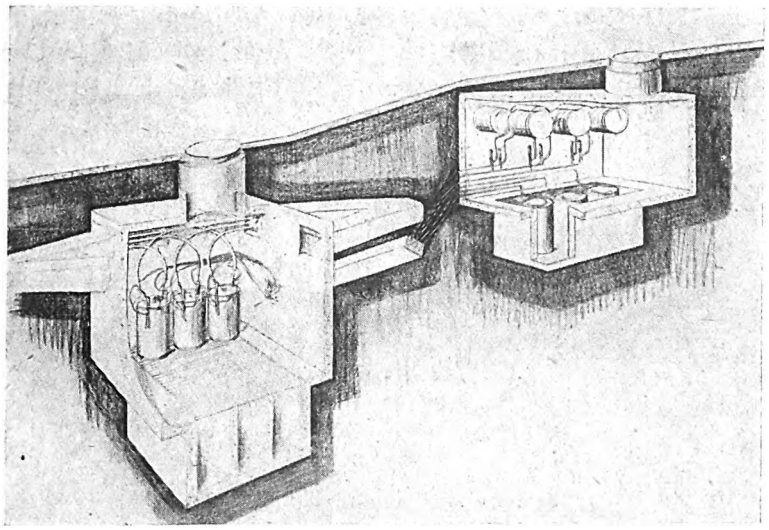


Fig. 9. — Section des cabines pour les réservoirs et pour les jonctions d'arrêt.

pour les réservoirs d'expansion et éventuellement pour les réservoirs de pression.

Le câble (fig. 10) a son conducteur formé par deux couches de fil de cuivre de 2,6 mm câblés sur une spirale en ruban de cuivre dur d'une forme spéciale (fig. 5), de façon à réduire le frottement de l'huile comme nous avons dit plus haut. Le diamètre du caniveau intérieur de la spirale est de 19 mm. Pour faciliter le passage de l'huile entre les fils du câble, celui-ci a été disposé d'une façon spéciale. Le diamètre sur le cuivre est de 31 mm. L'isolant de 18,3 mm d'épaisseur, comporte du papier de cellulose en trois graduations différentes, choisies en rapport avec la perméabilité. Pour l'imprégnation on a employé de l'huile minérale un peu plus fluide que celle employée dans les transformateurs.

Après l'imprégnation dans l'usine et après les essais électriques, on a enlevé l'huile de la cavité centrale avant d'expédier les bobines de câble. On a fait cela afin d'éviter des déformations dans le plomb

Digitized by Google

dues aux variations de température pendant le transport. Une nouvelle imprégnation a été pratiquée ensuite sur place après la pose. Immédiatement après l'essai de haute tension, avant d'enlever l'huile, on a fait un essai d'ionisation en procédant à la mesure de la différence entre le facteur de puissance à 20 000 et celui à 95 000 volts. Ensuite un essai spécial a été fait, l'essai dit d'imprégnation, que nous expliquerons plus loin, afin de déterminer la quantité de gaz libre dans l'intérieur du câble. Après cet essai, on appliqua sur le plomb un renforcement en ruban de cuivre dur, interposé entre deux couches de papier imbibé. Sur ce dernier on appliqua un deuxième manteau

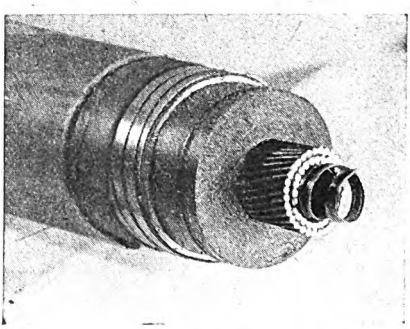


Fig. 10 — Photographie du câble.

de plomb pour protéger le cuivre contre l'action chimique du terrain et pour obtenir une surface extérieure bien lisse glissant facilement dans les conduites.

Le renforcement a été nécessaire parce que le câble pendant le fonctionnement est continuellement soumis à la pression hydrostatique de l'huile (une trentaine de mètres d'huile environ, et cette pression peut s'accroître considérablement par l'application de charges inattendues.

Un simple manteau en plomb ne pourrait pas résister à une telle pression, même si son épaisseur était considérable. En effet, le plomb présente plutôt les caractéristiques d'un liquide d'une très haute viscosité que celles d'un métal et se déforme même avec les plus faibles efforts, comme de nombreuses et intéressantes expériences ont démontré.

Dans la fig. 11 est représenté l'appareil employé pour ces expériences. L'échantillon de plomb a était soumis à une certaine traction exercée par un poids p, tout en étant immergé dans un bain d'huile à température constante ; l'aiguille marquait l'allongement. Plusieurs épreuves

Digitized by Google

à différentes températures et en employant des poids différents, faites sur différentes qualités de plomb et sur des alliages employés générale-

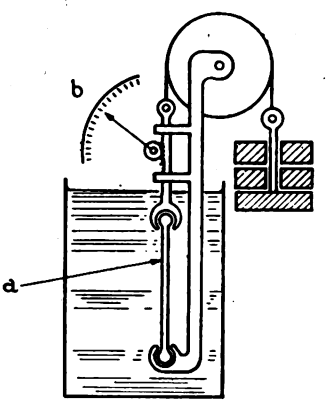


Fig. 11. — Appareil pour les essais sur le plomb.

ment dans les câbles (avec étain ou antimoine), montrèrent que le plomb subit toujours un allongement graduel plus ou moins régulier jusqu'au point de rupture. La vitesse de déformation augmente rapi-

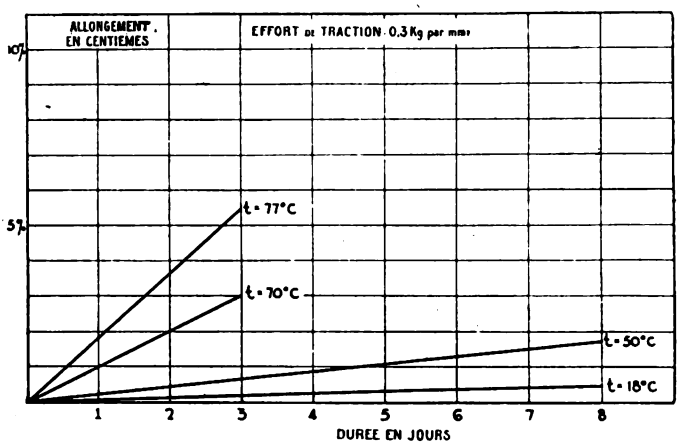


Fig. 12. — Courbe d'allongement du plomb du commerce.

dement avec la température comme il est indiqué dans les résultats de la fig. 12.

Le câble fut soumis aux essais suivants :

a) Chaque bobine a été essayée à 175000 volts, courant alternatif pendant 15 minutes entre le conducteur et le plomb.

Digitized by Google

b) Des tronçons maintenus à 0°C pendant 2 heures ont été courbés à 180° trois fois autour d'un tambour d'un diamètre égal 15 fois le leur et ensuite soumis à 225000 volts pendant 5 minutes.

c) Une bobine, sur chaque longueur de 5 000 mètres de câble a été essayée à 140 000 V pendant 8 heures.

Le facteur de puissance ne surpassa jamais dans aucune bobine, à la température ambiante, 0,5 pour cent et à 65 degrés 0,65 pour cent. La différence sur le facteur de puissance entre 20 000 et 95 000 V ne surpassa jamais 0,2 pour cent.

Quelques échantillons de câble supportèrent la tension de 225 000 volts en courant alternatif pendant 24 heures sans brûlure ni aucun dommage.

Dans un essai, le tronçon maintenu à 200 000 V pendant 30 heures, a été porté ensuite à 260 000 V pendant 20 heures sans donner lieu à aucune brûlure.

L'essai d'imprégnation était pratiqué de la manière suivante.

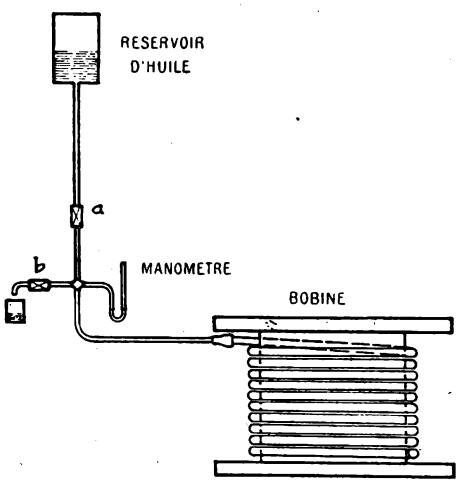


Fig. 13. — Essai d'imprégnation du câble en bobine.

Ayant bouché une tête du câble (fig. 13) l'autre tête a été raccordée à l'aide d'un robinet *a*, à un réservoir d'huile placé plus haut; la même tête était pourvue d'un manomètre à mercure et d'un robinet *b* par lequel on pouvait faire sortir l'huile du système. En tenant fermé le robinet *a*, le manomètre indique la pression de l'huile dans le câble, mais si le plomb n'est pas déformé élastiquement et si dans le câble aucun gaz n'est renfermé, l'huile ne doit pas sortir si on ouvre le robinet *b*.

Digitized by Google

En excluant pour un instant l'élasticité du tube de plomb, il est évident que si une bulle de gaz de volume v à la pression p existe dans un point du câble, elle se détendra si on ouvre le robinet b et atteindra dans un certain temps le volume $v + \Delta v$. Un volume Δv d'huile sortira du robinet b et la pression de la bulle descendra à une valeur $p - \Delta p$.

Si nous envisagons seulement de petites variations, nous pouvons considérer Δv et Δp comme quantités différentielles, et en partant de l'équation caractéristique

$$pv = \text{constante}$$

en différenciant, nous pouvons écrire :

$$dv = - dp \frac{v}{p}.$$

Cela peut être répété pour toutes les bulles de gaz existantes dans le câble et en additionnant nous avons :

$$\Sigma dv = - \Sigma dp \frac{v}{p}.$$

Mais l'addition de tous les dv est la quantité totale d'huile sortie du robinet b ; en l'appelant Δv et en supposant que Δp soit le même en tous les points du câble et que sa valeur puisse être lue par le manomètre, nous avons :

$$\Delta v = - \Delta p \Sigma \frac{v}{p}.$$

Si la pression est la même dans tous les points du câble, on peut tout de suite calculer le volume total de gaz libre dans le câble. Cette condition peut être réalisée pratiquement dans l'usine en couchant la bobine sur un flanc comme il est montré dans la figure 13, et en employant une pression p assez élevée.

Une conclusion très importante et intéressante est déduite de la comparaison entre cet essai mécanique et l'essai électrique, en considérant que la part du facteur de puissance correspondant à l'ionisation est proportionnelle au volume de gaz mesuré dans le câble. Dans la figure 14 sont rapportées les valeurs de la variation du facteur de puissance entre 20 et 95 000 V en fonction du rapport entre la quantité de gaz libre dans le câble et le volume total du diélectrique, la pression de l'huile étant comprise entre la pression atmosphérique et une pression correspondant à un mètre d'huile. Dans l'essai d'imprégnation fait après la pose, il n'est pas possible de supposer que la pression du gaz soit la même dans tous les points du câble, excepté

Digitized by Google

dans les tronçons de câble placés horizontalement. Dans ce cas on peut connaître seulement la valeur totale de $\sum \frac{v}{p}$. Cette expression ne semble pas avoir une signification importante, mais si nous supposons que d'un côté la part du facteur de puissance due à l'ionisation du gaz soit proportionnelle à son volume, et que de l'autre côté cette valeur aille en diminuant proportionnellement à l'accroissement de pression, nous pouvons alors conclure que l'expression $\sum \frac{v}{p}$ est une quantité capable à nous faire préjuger de la conduite électrique

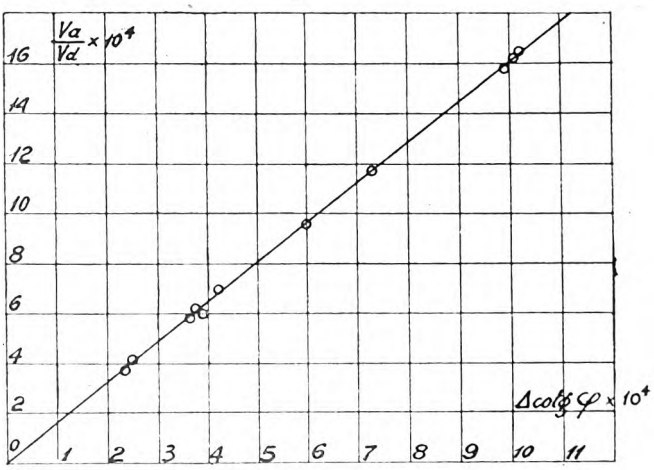


Fig. 14. — Relation entre la variation du facteur de puissance et la quantité des gaz occlus

du câble. Par cette raison, nous l'avons considérée comme une mesure de l'imprégnation du câble.

On doit noter ici que dans la détermination expérimentale de $\sum \frac{v}{p}$, des accroissements finis de pression et de volume sont seulement considérés, et ceux-ci naturellement doivent être choisis très petits, afin d'éviter une erreur sensible dans les résultats. Des corrections opportunes peuvent être faites pour pouvoir tenir compte de l'élasticité du plomb, des raccords, etc.

Lorsqu'on commença à employer cette méthode sur le câble posé, on rencontra la difficulté que la pression de l'huile dans le câble n'était pas constante, mais qu'elle changeait de temps en temps, soit à cause de la variation de température dans le câble, soit parce que l'essai

Digitized by Google

était pratiqué quelques heures après l'imprégation, celle-ci n'étant pas encore complète, spécialement dans les jonctions.

Pour ces raisons on a dû modifier la méthode eu égard aux considérations suivantes :

Supposons que la pression dans une bulle gazeuse de volume v soit p fonction du temps t. La pression hydrostatique dans le point du câble où existe la bulle sera donnée par une certaine équation en fonction du temps et d'autres paramètres, c'est-à-dire

$$p = f(t,\ a,\ b,\ c,\ \ldots).$$

Nous pouvons toujours convertir cette équation (en la supposant connue) de façon à introduire avec ou au lieu de certains paramètres les valeurs p_1 et v_1 de la bulle gazeuse à un certain moment t_1.

L'équation deviendra

$$p = f(t,\ p_1,\ v_1,\ \ldots)$$

en différenciant par rapport à p_1 nous aurons

$$dp = \frac{df(t,\ p_1,\ v_1,\ \ldots)}{dp_1}\, dp_1$$

qui nous dit comment varie la pression en conséquence d'une variation arbitraire de p_1 introduite au moment t_1.

En rappelant que p_1 et v_1 sont liées par la loi des gaz, on peut écrire

$$dp_1 = -\, dv_1\, \frac{p_1}{v_1}$$

et alors

$$dp\, \frac{v_1}{p_1} = -\, \frac{df(t,\ p_1,\ v_1,\ \ldots)}{dp_1}\, dv_1.$$

Mais cela vaut pour chacune des nombreuses bulles de gaz existantes le long du câble. Nous aurons autant d'équations, que nous pourrons de fois additionner membre à membre. Puisque la variation de pression produite dans un point se transmet à tous les autres, dp sera égal pour tous les points et on aura :

$$dp \sum \frac{v_1}{p_1} = -\sum \frac{df(t,\ p_1,\ v_1,\ \ldots)}{dp_1}\, dv_1$$

Dans l'instant t_1

$$\frac{df(t,\ p_1,\ v_1,\ \ldots)}{dp_1} = 1$$

et ensuite

$$dp \sum \frac{v_1}{p_1} = -\sum dv_1.$$

Or, si la variation de pression a été obtenue en ôtant un volume

Digitized by Google

d'huile dans un point déterminé du câble,

$$\Delta v_1 = \sum dv_1,$$

et par conséquent

$$d\rho \sum \frac{v_1}{p_1} = - \Delta v_1 .$$

La méthode qui en résulte est donc la suivante :

A l'extrémité du câble (fig. 15) où est placé le réservoir d'expansion,

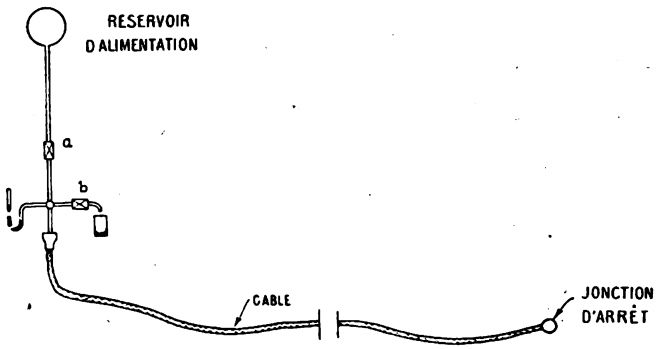


Fig. 15. — Essai d'imprégnation sur le câble installé.

est joint un manomètre à mercure. Lorsque le robinet a est fermé, le manomètre indique, instant par instant, la pression du câble. Mar-

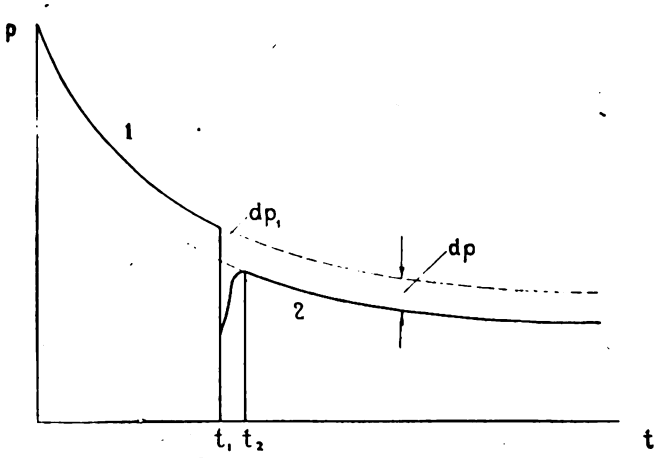


Fig. 16. — Courbe de la pression dans l'essai d'imprégnation.

quons-en les valeurs sur la courbe (fig. 16). A l'instant t nous ouvrons le robinet b et nous laissons sortir de l'huile. Ensuite fermons

Digitized by Google

le robinet et continuons à lire la pression indiquée par le manomètre. La courbe qui serait suivie si aucune huile n'était sortie, est marquée par de petits traits. La vraie courbe est marquée un peu plus en bas et indiquée avec 2.

La première partie de cette courbe entre les instants t_1 et t_2 représente une période transitoire et elle est due à la formation de nouvelles conditions dans le câble. Il n'est pas possible de connaître dp_1 avec d'autres moyens sauf en prolongeant la partie, considérée stable, de la courbe 2 jusqu'à couper l'ordonnée p_1 comme il est marqué par la ligne en petits traits.

Nous déduisons alors facilement $\sum \frac{v_1}{p_1}$ par la formule

$$dp_1 \sum \frac{v_1}{p_1} = -\Delta v_1 .$$

Naturellement $\sum \frac{v_1}{p_1}$ correspond à la pression p_1, à l'extrémité du câble et non à la pression donnée par le réservoir d'expansion, mais en pratique cette différence peut être considérée comme très petite.

Réservoirs d'alimentation ou d'expansion.

Les meilleures conditions pour le fonctionnement des réservoirs d'huile seraient de pouvoir conserver pratiquement et constamment à

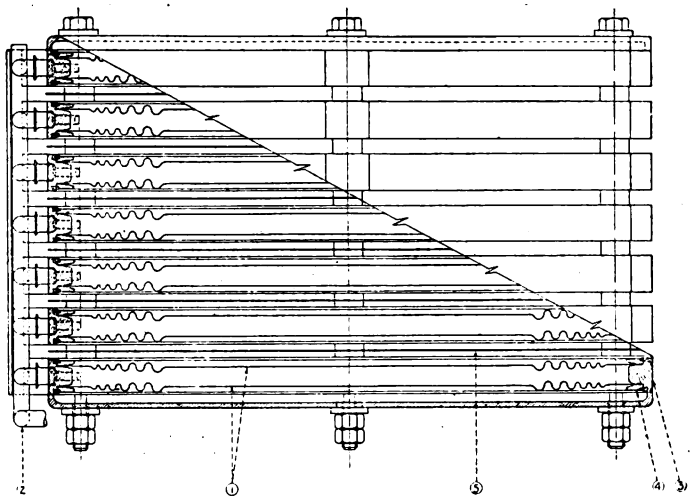


Fig. 17. — Coupe d'un réservoir d'expansion.

l'intérieur la pression atmosphérique, indépendamment du volume d'huile contenue, et que cette dernière ne vienne jamais en contact avec l'air ambiant.

Digitized by Google

Le problème a été résolu en employant des récipients élastiques constitués par de minces parois métalliques facilement déformables. De cette façon l'huile n'est pas en contact avec l'air, mais elle se com-

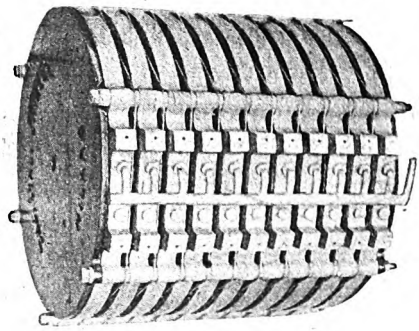


Fig. 18. — Réservoir d'expansion.

porte, au point de vue de la pression, comme si elle était contenue dans un récipient ouvert.

La fig. 17 et la fig. 18 sont un dessin et une photographie d'un réservoir d'expansion.

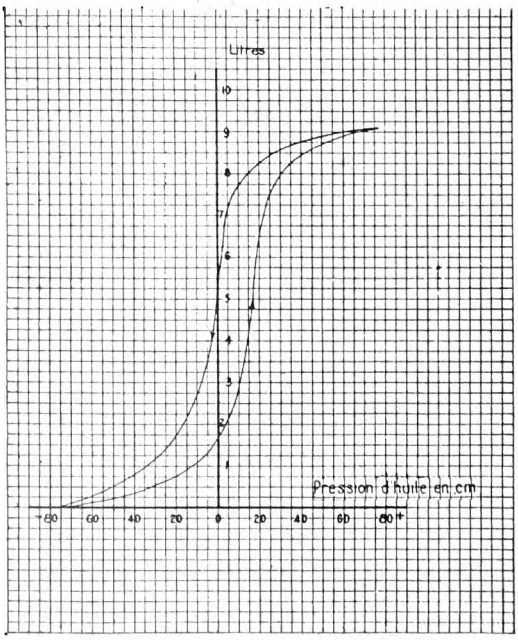


Fig. 19. — Relation entre la pression et le volume de l'huile dans un réservoir d'expansion.

Digitized by Google

Sept cellules séparées, formées chacune par des parois élastiques 1, sont jointes en parallèle avec un distributeur commun 2. Chaque cellule est composée d'un anneau 3 sur lequel sont soudés les diaphragmes ondulés 1, qui à leur tour sont maintenus en place par un anneau 4. L'ondulation permet aux plaques de se gonfler soit d'un côté, soit de l'autre.

Deux types de réservoir furent adoptés, l'un avec sept cellules, montré dans la figure 17 et appelé S-7, l'autre avec onze cellules appelé S-11.

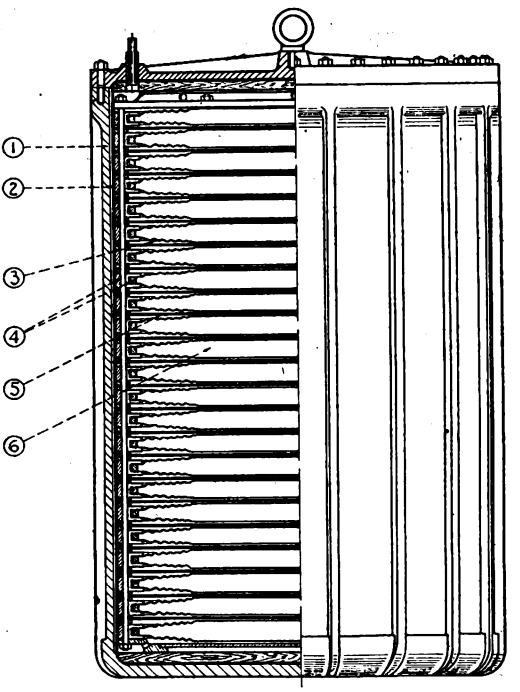


Fig. 20. — Dessin d'un réservoir de pression.

Le câble de chaque section fut alimenté par deux ou plusieurs de ces réservoirs, disposés en parallèle par des robinets et des distributeurs.

La figure 19 donne les valeurs de la pression de l'huile à l'intérieur d'une cellule de réservoir en fonction du volume d'huile contenue, la pression étant indiquée en centimètres de colonne d'huile à partir du centre du réservoir et le volume en litres.

L'aire contenue entre les deux courbes est due à l'hystérésis des parois de métal pendant la déformation.

Digitized by Google

Réservoirs de pression.

Ce type de réservoir (fig. 20) est formé par un certain nombre de cellules 3 élastiques et étanches, remplies de gaz, séparées par de lourdes plaques 5, et contenues dans le réservoir 2 rempli d'huile. Le réservoir extérieur L peut résister au maximum de pression provoquée par l'huile de la section pendant la dilatation.

Chaque cellule est parfaitement étanche et elle est remplie par un gaz inerte de moindre coercibilité.

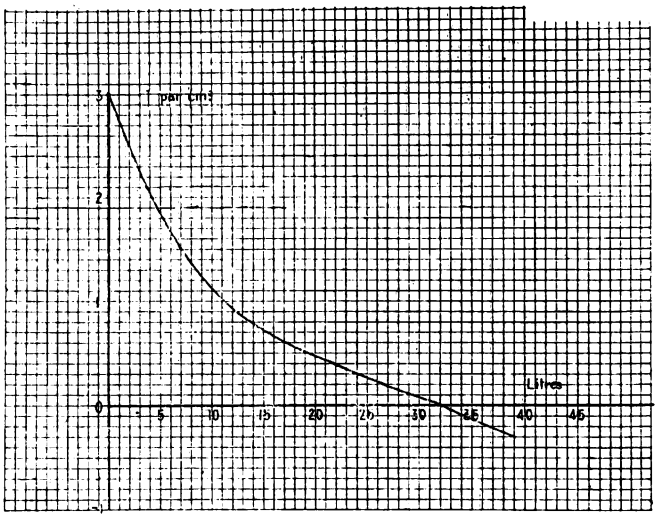


Fig. 21. — Relation entre la pression et le volume de l'huile dans un réservoir de pression.

On adopta trois types : A 23 avec 23 cellules (fig. 20), A 17 avec 17 cellules et A 6 avec 6. La courbe de la figure 21 montre comment la pression varie à l'intérieur du réservoir en fonction du volume d'huile fourni par le réservoir, pour un réservoir de pression du type A-6, la pression étant exprimée en kg/mm² au-dessus de l'atmosphérique, et le volume en litres.

Jonctions d'arrêt.

Comme nous l'avons expliqué auparavant, chaque section est jointe électriquement à la suivante au moyen d'une jonction spéciale, appelée jonction d'arrêt, qui interrompt la communication de l'huile

Digitized by Google

(fig. 22). La jonction d'arrêt se compose essentiellement d'un réservoir cylindrique 1 rempli d'huile 2, qui contient deux terminaux en porcelaine 3 disposés en V.

Les têtes de câble de chaque section aboutissent dans ces terminaux qui sont joints électriquement à la partie plus basse. Comme pour les réservoirs de pression, le récipient extérieur est d'une épaisseur appropriée et a une doublure 5 hermétiquement soudée au couvercle supé-

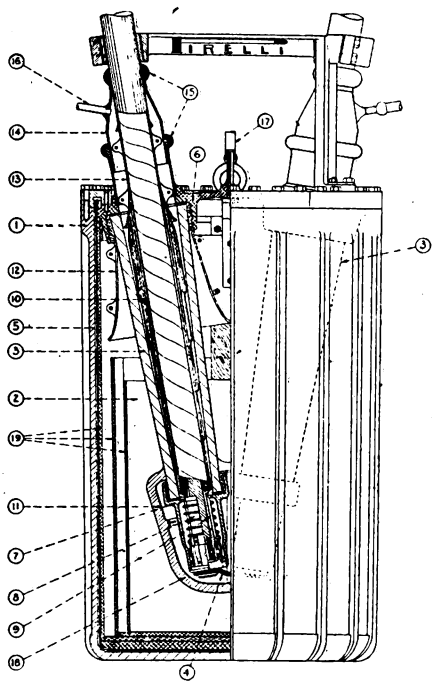


Fig. 22. — Dessin d'une jonction d'arrêt.

rieur 6. Les isolateurs des terminaux sont cimentés à leur extrémité supérieure au couvercle et sont pourvus au bout inférieur de deux manteaux métalliques 7 : l'étanchéité des jonctions est assurée au moyen de garnitures en liège.

Les deux manteaux sont reliés électriquement par une connexion flexible 4 et sont munis à l'intérieur d'une série de plaques 8 qui sont en contact par pression avec le raccord 9 soudé à la tête des câbles. Les deux manteaux inférieurs et la connexion 4 sont protégés par une couverture métallique 11, de façon à obtenir une bonne distribution du champ électrique; pour la même raison les isolateurs sont pourvus à l'extrémité supérieure de contrôles électrostatiques 12. La couver-

Digitized by Google

ture métallique 11 est électriquement protégée par un bandage de papier 18 et le chemin de la décharge vers le récipient est coupé par des barrières isolantes 19. Les deux têtes de câble, après avoir été protégées sur place par des bandages de papier 10 et pourvues de contrôles électrostatiques 13, sont introduites dans les isolateurs, de façon à forcer leur raccord 9 entre les plaques 8. Ensuite la couverture de plomb du câble est soudée au couvercle au moyen d'un manteau métallique 14. Alors le récipient de la jonction d'arrêt est soulevé dans la cellule jusqu'à sa position finale, ainsi les câbles glissent dans les isolateurs. Les seules soudures à faire sur place sont celles indiquées sous le n° 15. L'huile est fournie aux câbles à travers un tube 16 qui est joint aux réservoirs à l'extrémité de l'alimentation de la section.

La chambre d'huile 2 intérieure à la jonction d'arrêt est reliée sur place au moyen du tube 17 au terminal qui offre la plus grande pression, chaque terminal se trouvant à la pression déterminée par la hauteur du réservoir de la section à laquelle il est relié. De cette façon l'huile du réservoir est toujours à une pression égale ou plus élevée que celle de l'huile qui se trouve dans les isolateurs; ainsi la porcelaine est soumise seulement à la compression.

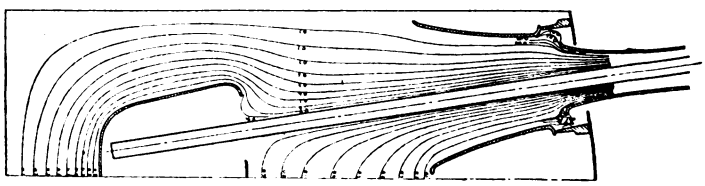


Fig. 23. — Distribution du champ électrique dans une jonction d'arrêt.

La distribution du champ électrostatique à l'intérieur de la jonction d'arrêt a été étudiée dans le laboratoire, expérimentalement, en construisant point par point les lignes équipotentielles pour un modèle spécial avec la méthode électrolytique connue; elle est montrée dans la figure 23. Les lignes équipotentielles sont indiquées pour une section traversant les axes des isolateurs.

Terminaux.

La figure 24 montre le dessin d'un terminal « Pirelli » et la figure 25 celui d'un terminal de la General Electric Co. Le raccord supérieur 1 est pourvu d'ouvertures 2 adaptées à l'écoulement de l'huile et la par-

Digitized by Google

tie inférieure est pourvue du tuyau 3 pour l'huile jusqu'aux réservoirs. La caractéristique du terminal Pirelli consiste dans l'emploi de deux isolateurs en porcelaine, dont l'un intérieur 4 lisse, qui garantit l'imperméabilité à l'huile, l'autre extérieur 5 composé de plusieurs éléments à cloche qui sert à constituer un trajet très long aux pertes su-

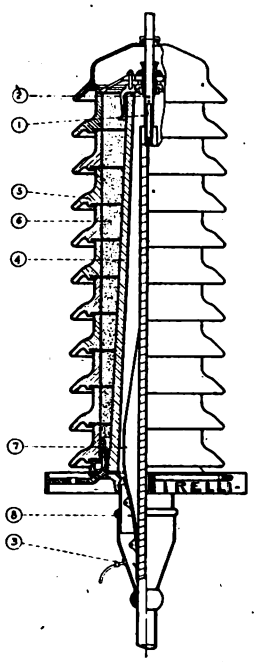


Fig. 24. — Terminal Pirelli.

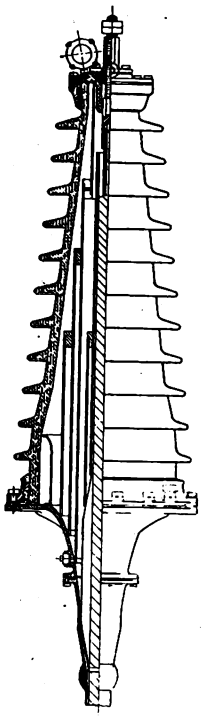


Fig. 25. — Terminal General Electric Company.

perficielles. L'intervalle renfermé entre les deux isolateurs est rempli de mélange isolant 6 qui agit comme un coussin élastique contre les efforts mécaniques vers l'isolateur intérieur.

Dans les deux types de terminal les câbles sont protégés par des bandages isolants 7 et le gradient de la tension est abaissé par des contrôles électrostatiques 8.

Jonctions normales.

On a employé deux différents types de jonction, l'un pour le câble fabriqué par la Maison Pirelli à Milan, et l'autre pour le câble fabriqué par la General Electric Co, à Schenectady. Le type de jonction Pi-

Digitized by Google

relli est isolé complètement avec du papier traité de façon spéciale dans la fabrique. Le type de la General Electric est au contraire en

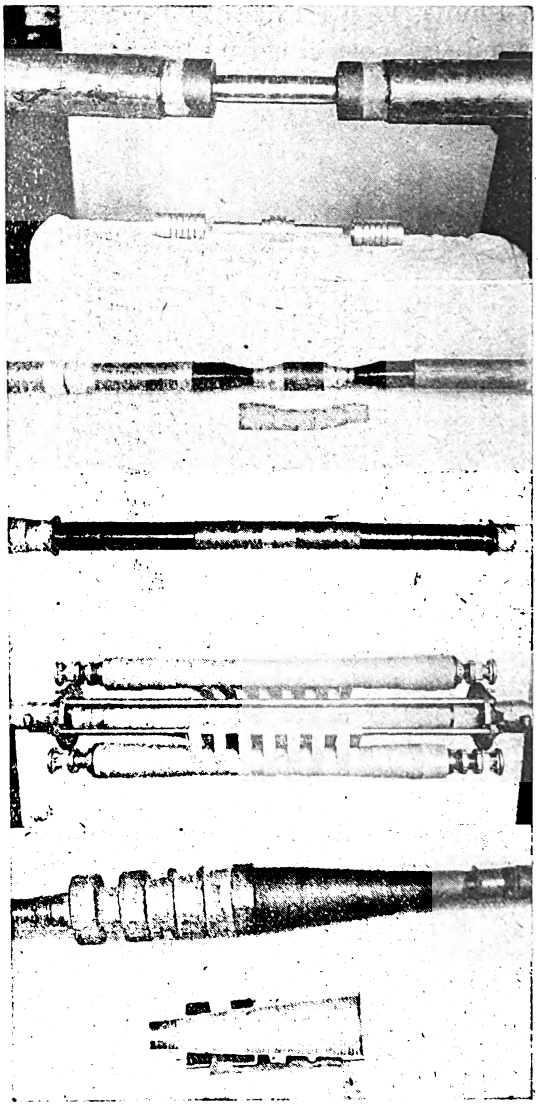


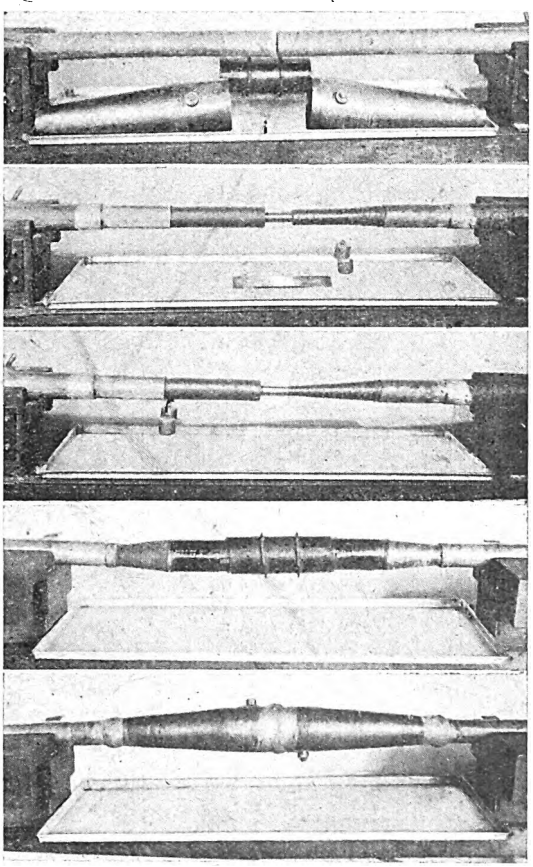
Fig. 26. — Exécution d'une jonction normale " Pirelli ".

toile sterling traitée aussi de façon à lui donner un bas facteur de puissance.

La construction de la jonction Pirelli est montrée dans la fig. 26 dans les différentes phases de construction. L'étau de raccord est en

Digitized by Google

trois pièces, celle du centre est munie d'un trou longitudinal qui permet l'écoulement de l'huile. L'isolant est composé de trois parties : la première sur l'étau, est faite de la même façon que les jonctions ordinaires pour la haute tension, en employant un large ruban qui vient s'enrouler étroitement sur l'étau. La deuxième partie est faite avec



Fik. 27. — Exécution d'une jonction normale "General Electric".

un ruban étroit qui rend à la jonction une surface cylindrique ayant le même diamètre que le conducteur du câble. La troisième partie enfin est faite à la machine avec des rubans enveloppant cylindriquement le conducteur.

Sur l'isolant est couchée une protection électrique faite en aluminium, ensuite un simple manchon en plomb est soudé au câble. Ce manchon est soutenu au moyen de brides sortant de la protection en

Digitized by Google

aluminium, de façon à pouvoir supporter le vide qui sera fait dans la jonction; et il est aussi renforcé extérieurement avec du ruban de cuivre pour pouvoir supporter à son tour la pression hydrostatique qui agira sur le plomb lorsque le câble sera en fonctionnement.

Dans le type de jonction de la General Electric Co, l'étau de raccord est très semblable à celui de la jonction Pirelli. Le conducteur est coupé en pointe de crayon comme il est indiqué dans la figure 27 et la toile sterling est enroulée à la main pendant qu'on verse de l'huile isolante chaude sur chaque couche afin d'éviter des inclusions gazeuses.

Le contrôle électrostatique aux deux extrémités de la jonction est fait par une petite tresse aplatie de cuivre. Dans la partie centrale de la jonction il y a une protection en bakelite. Le couvre-joint est fait par deux manchons en cuivre soudés au centre de la jonction.

Imprégnation du câble après la pose.

La pose et l'imprégnation ultérieure du câble sur place ont été les opérations les plus délicates. Cette deuxième imprégnation fut estimée nécessaire afin de ne pas renfermer de l'air dans les points de jonction, par lesquels, si le câble avait été expédié et posé avec son caniveau rempli d'huile, une partie de cette dernière se serait certainement échappée pendant la jonction, spécialement par le fait que la plus grande partie des tronçons n'étaient pas posés horizontalement.

L'opération a été conduite de la façon suivante : tous les tronçons d'une section ont été joints ensemble, ensuite les joints d'arrêt aux terminaux ont été installés aux extrémités de la section même. Un certain nombre de jonctions tout le long de la section n'ont pas été faites de façon définitive, mais seulement provisoirement comme il est montré dans la figure 28, et de façon à pouvoir vider le câble, non seulement par les extrémités près des jonctions d'arrêt, mais aussi par des joints intermédiaires de la section.

La distance de ces jonctions provisoires fut calculée d'avance de façon à ce qu'aucune partie du câble comprise entre les joints de de vidange n'eût un degré de vide inférieur à une certaine valeur. Puisque le passage central n'était pas complètement libéré d'huile, tout le long du câble se formaient plusieurs syphons spécialement dus à l'huile qui se dégageait du papier pendant la formation du vide.

Il se produisait ainsi une chute de pression dans chaque syphon et

Digitized by Google

cette chute rendait le vide dans le câble graduellement d'autant plus mauvais que la colonne d'huile s'élevait davantage dans les syphons et que ces derniers étaient plus nombreux. Pour déterminer graphiquement les chutes de pression dans le câble suivant le profil de la section, une théorie a été établie. On a ainsi étudié une méthode de calcul des résultats à appliquer sur place; de cette manière on réussit à calculer la distance des jonctions provisoires de façon à ne pas baisser le degré de vide en aucun point au-dessous d'un certain chiffre.

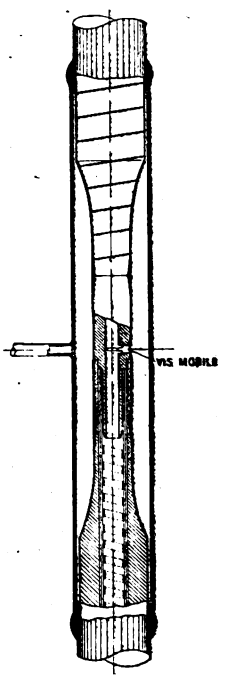


Fig. 28. — Jonction provisoire.

Après quelques heures de vide, on commençait l'imprégnation en introduisant l'huile dans le câble par le point de jonction des réservoirs d'alimentation. Dans chaque jonction provisoire les pompes à vide furent arrêtées lorsque l'huile était arrivée dans les trois conducteurs. L'imprégnation du câble était terminée pratiquement lorsque l'huile arrivait à la jonction d'arrêt la plus éloignée de l'alimentation et après que l'isolant et la jonction avaient cessé d'absorber l'huile.

Enfin on faisait l'essai d'imprégnation comme il a été expliqué tout à l'heure : il a été étudié spécialement pour déterminer la perfection de l'imprégnation, qu'il serait impossible ou au moins impraticable

Digitized by Google

de reconnaître, au moyen d'essais électriques faits après la pose. Les résultats de l'imprégnation obtenus sur le câble posé concordaient assez bien avec ceux obtenus par l'imprégnation des bobines dans la fabrique.

A New-York, l'huile pour imprégner les différentes sections a été transportée sur place dans des récipients du même type que ceux qui

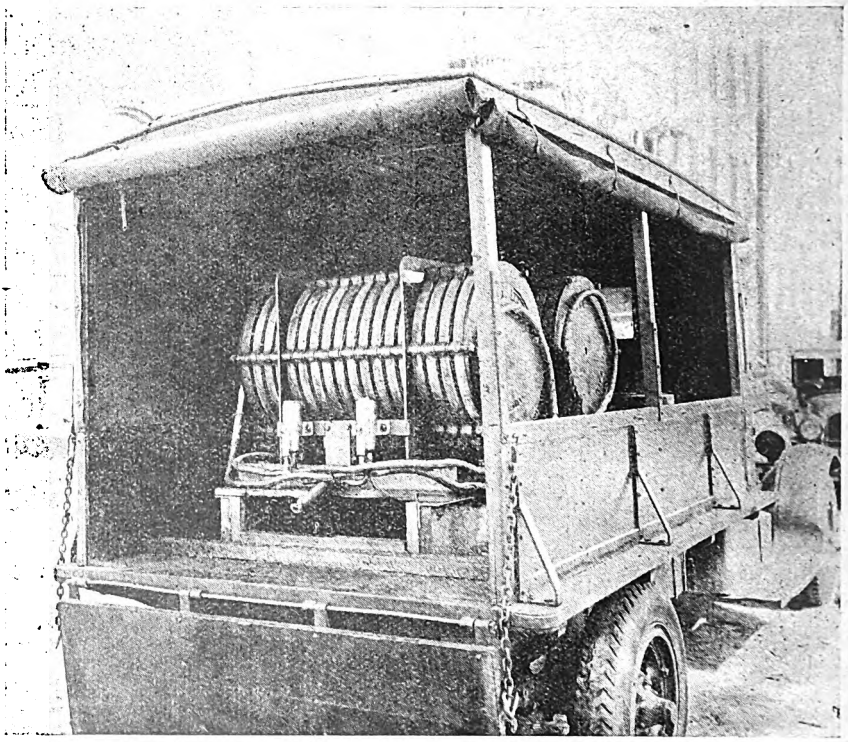


Fig. 29. — Camion aménagé pour le transport de l'huile dégazéifiée.

fonctionnaient comme réservoirs d'alimentation; l'huile était préventivement séchée et dégazéifiée dans un endroit commun à tous les sections. La figure 29 représente le type de transport employé pour les réservoirs. A Chicago, le séchage et la dégazeification de l'huile furent exécutés dans les bâtiments installés expressément pour les réservoirs d'alimentation, et de cette façon l'huile passait des récipients de séchage dans l'appareil à dégazéifier et ensuite directement dans le câble.

Lorsque l'imprégnation était complète, la section était jointe définitivement à ses réservoirs d'alimentation. Avant de mettre le câble

Digitized by Google

en fonctionnement, toute la ligne a été chauffée à pleine charge pendant longtemps en faisant circuler le courant dans le conducteur, dans le but de vérifier la conduite des appareils et le flux de l'huile, et aussi pour constater que la quantité d'huile disponible dans les réservoirs était exactement la quantité nécessitée par les conditions de charge et les variations météorologiques de température. Ce procédé de chauffage a été employé aussi dans des circonstances spéciales pour diminuer la viscosité de l'huile et en accélérer l'écoulement pendant l'imprégnation lorsque le temps devenait froid.

Essais faits après l'achèvement.

Après avoir terminé la pose, la ligne a été essayée à 300 000 V en courant continu pendant 15 minutes, chaque conducteur contre le plomb.

Fonctionnement.

A Chicago, le câble a été mis en fonctionnement le 2 juin 1927, à New-York, le 9 août 1927. Jusqu'à ce jour (février 1928) aucun inconvénient de nature électrique ne s'est présenté. Les seuls incidents signalés consistent en des pertes d'huile; ainsi il a fallu réparer quelques jonctions d'arrêt, quelques garnitures de terminaux, et quelques soudures de jonctions. A New-York, on a aussi reconnu une fuite entre deux tronçons due à une mauvaise soudure dans le manteau de plomb. Ces pertes furent accusées par la diminution d'huile dans les réservoirs d'alimentation, mais il a été impossible de laisser encore le câble en service jusqu'à l'instant propice pour faire les réparations nécessaires. Les pertes dans les jonctions ont été toujours réparées en très peu de temps. Les deux traits défectueux ont été remplacés sans avoir eu besoin de pratiquer la réfection du vide sur toute la section, et la réparation ne réclama pas plus de temps que celui nécessaire à substituer un tronçon de câble du type ordinaire. Il faut noter que dans ce type de câble, une perte est baucoup moins dangereuse que dans les câbles de type ordinaire, parce que dans ce câble l'eau du terrain environnant ne peut pas pénétrer en abîmant l'isolant comme il arrive dans les câbles de type ordinaire. Ceci a été bien mis en évidence à Chicago où ce câble est toujours submergé.

Digitized by Google

Observations.

M. J. DELON, *Directeur général aux Câbles de Lyon.* — M. Emanueli vient de nous exposer de façon claire et très intéressante les caractéristiques détaillées de l'installation de son système de câbles souterrains à l'aide duquel ont été réalisées les canalisations de New-York et de Chicago.

Je crois intéressant de vous signaler à mon tour que, à l'époque où l'on réalisait ces deux installations, la Commonwealth Edison Company d'une part et les Publics Services de Newark (New-Jersey) d'autre part, entreprenaient également un essai de canalisation souterraine à 132 000 volts en utilisant des câbles d'un système analogue à celui qui a été employé jusqu'à maintenant pour la réalisation des canalisations souterraines à haute tension.

Les Câbles de Lyon qui ont participé à l'une de ces expériences, ont posé à Chicago une longueur de 450 mètres environ composée de 3 tronçons réunis entre eux par des boîtes de jonction et constituant par conséquent un système complet de canalisation souterraine relié directement à une ligne aérienne sans l'interposition d'aucun appareil de protection.

Comme dans tous les câbles qui sont destinés à fonctionner sous des tensions élevées, le conducteur de ce câble a un diamètre suffisant pour que la contrainte de l'isolant ne dépasse pas la valeur qui a été choisie.

Vous savez, en effet, que dans certains cas il est préférable d'augmenter artificiellement le diamètre du conducteur plutôt que d'augmenter l'épaisseur de l'isolant, c'est pourquoi nous avons admis que pour des câbles à 132 000 volts, le conducteur devait avoir un diamètre de 28 mm et pour arriver à ce résultat, l'âme du conducteur a été constituée par un bourrage de fils de jute et de papier sur lequel le cuivre a été enroulé.

L'isolant qui recouvre le conducteur est constitué par du papier imprégné avec une matière isolante formée par un mélange d'huile et de résine.

Nous utilisons ce mélange afin que la matière d'imprégnation soit suffisamment visqueuse aux températures de fonctionnement du câble et qu'elle n'ait pas tendance à se déplacer dans la masse de l'isolant, soit sous l'action de son propre poids, soit sous l'action du champ électrique.

L'épaisseur d'isolant relativement grande de ces câbles est un obstacle à l'imprégnation du papier et il ne faut pas croire que ce soit en doublant l'épaisseur d'isolant d'un câble à 66 000 volts que nous sommes arrivés à fabriquer un câble à 132 000 volts.

Digitized by Google

Il a fallu, pour réaliser cette imprégnation, mettre au point une méthode nouvelle et un outillage très différent de celui qui avait été utilisé pour la fabrication des câbles à moins haute tension. Il fallait aussi s'assurer, avant la livraison des câbles, que leur coefficient de sécurité était au moins égal à celui que l'on admet normalement pour les câbles à haute tension, et cette assurance n'a pu être obtenue que par le tracé des courbes de vie de nos câbles.

L'application de la méthode que j'ai exposée à la dernière session de la Conférence internationale des grands réseaux électriques à haute tension, m'a permis d'apprécier le coefficient de sécurité de notre fourniture L'expérience paraît avoir justifié les prévisions que nous avions faites, puisque le tronçon de canalisation qui a été posé au printemps dernier à Chicago a pu être mis en service au début du mois d'août 1927 et fonctionne depuis cette époque sans aucun incident.

Ainsi que vous le voyez, cette canalisation ne diffère en rien d'une canalisation du type normalement utilisé pour des tensions plus faibles, mais elle diffère sensiblement du système de M. Emanueli, par le fait que la fabrication du câble dont je viens de vous parler est entièrement achevée dans l'usine du constructeur et ne nécessite aucune opération complémentaire au moment de la pose.

Nos câbles ont été posés, comme on le fait toujours en Amérique, dans des conduites en béton. Les tronçons de 150 mètres sont raccordés les uns aux autres au moyen de boîtes de jonction dans lesquelles l'isolant a été reconstitué en enroulant du papier imprégné avec une machine qui serre très fortement le papier autour de la partie dénudée du conducteur. Les boîtes d'extrémité ne présentent aucune particularité de construction.

La différence entre le système de M. Emanueli et le nôtre apparaît donc bien nettement. L'expérience montre que les deux systèmes peuvent être utilisés pour la réalisation des canalisations à 132 000 volts, et je crois que seul le prix de revient de l'installation pourra permettre de choisir entre ces deux systèmes.

Les expériences qui se poursuivent aux Etats-Unis présentent donc pour nous un grand intérêt, car il paraît vraisemblable que dans un avenir prochain nous serons conduits à utiliser en France des canalisations souterraines sur des réseaux à 120 et à 150 000 volts. Il serait d'ailleurs désirable qu'il nous soit permis de réaliser dans notre pays des expériences analogues à celles que les Américains n'ont pas hésité à nous faire faire chez eux.

Digitized by Google

L'ÉTAT ACTUEL DE L'INDUSTRIE DU CADMIUM CONSIDÉRÉ COMME SOUS-PRODUIT DE LA FABRICATION ÉLECTROLYTIQUE DU ZINC [1]

par M. ALTMAYER

Le cadmium, comme on sait, est un métal qui presque toujours accompagne le zinc dans ses minerais et sa métallurgie. On le préparait jadis surtout par voie sèche, en commençant par séparer par distillations fractionnées, l'oxyde de cadmium de l'oxyde de zinc obtenus dans le procédé des cornues. Le traitement était basé sur ce fait que le premier se réduit plus facilement que le second et que le cadmium se volatilise à plus basse température que le zinc.

Cette métallurgie est très laborieuse et aboutit à un prix élevé, le rendement des opérations étant déplorable.

Bien qu'il subsiste encore quelques sources de production de ce genre, auxquelles on peut ajouter le traitement des fumées des chambres à sacs, des fours à plomb et à cuivre, on peut dire que la plus grande partie du cadmium ne tardera pas à provenir des résidus de la purification des liqueurs de lixiviation pour l'électrolyse du zinc.

Comme cette dernière industrie progresse partout très rapidement en fournissant un tonnage de zinc électrolytique, qui représentera dans un avenir prochain le quart de la production mondiale, les possibilités de tonnage de cadmium croîtront en proportion.

Elles sont d'ailleurs très favorisées par une autre circonstance se rapportant aux moyens d'obtenir les minerais de zinc.

Depuis quelques années, en effet, les méthodes de préparation des concentrés de flottation se sont beaucoup perfectionnées. On est arrivé à mettre au point des procédés de flottation dite « sélective » permettant de traiter bien des minerais complexes de zinc, cuivre, plomb qui étaient jadis rebelles à toute extraction avantageuse. Le rendement des opérations de séparation de ces trois métaux est même ex-

---

(1) Cette communication a été présentée à la Séance de la 3e Section du 25 février 1928

Digitized by Google

cellent, vu qu'il est souvent compris entre 85 et 95 pour cent. Tous ces progrès ont eu pour résultat de placer à la disposition des usines à zinc, une quantité de minerais beaucoup plus considérable que par le passé. Non seulement peut-on maintenant en recueillir le zinc avec profit, mais aussi le cuivre et le plomb, souvent d'ailleurs avec des teneurs intéressantes d'or et d'argent accompagnant ces derniers. Le cadmium vient encore par surcroît puisqu'on voit qu'en bonne moyenne il se trouvera dans les minerais de zinc dans la proportion de 1 de cadmium pour 200 de zinc.

En 1926, la production de cadmium des trois principaux pays producteurs a dépassé 600 tonnes; en 1927, l'Australie toute seule a augmenté son tonnage de 200 tonnes par rapport à 1926. Il n'est pas excessif de compter sur une production globale prochaine de plus de 1 000 tonnes de cadmium par an, quand les diverses usines de zinc électrolytique en construction seront en marche.

On sait que le traitement consiste :

1° En un grillage préalable des concentrés de flottation qui doit être conduit d'une manière spéciale dépendant de la méthode de lixiviation employée pour dissoudre le zinc.

2° En une lixiviation du produit grillé avec la liqueur de sortie de l'électrolyse dont la teneur en acide s'est enrichie, tandis que s'abaissait la teneur en zinc.

3° En une purification plus ou moins complète de la liqueur de lixiviation chargée de sulfate de zinc frais pour l'électrolyse.

Cette liqueur est purifiée après neutralisation finale au moyen de poudre de zinc, dont il faut en général employer d'assez grandes quantités. Le métal tel quel d'ailleurs n'est pas perdu, il reste dans le circuit, mais il coûte les frais des traitements subis pour la partie à utiliser chaque jour.

Il y a deux méthodes de lixiviation suivant qu'on traite le minerai grillé pour dissolution du zinc contenu par une liqueur à faible acidité, environ 10 pour cent ou à forte acidité, environ 28 pour cent.

Dans le premier cas dit « Méthode Standard » la liqueur demande à être extrêmement purifiée ce qui fait monter les frais de purification, et l'électrolyse s'effectue à bas ampérage, disons 250 A par m^2, c'est le procédé de l'Anaconda, et des usines canadiennes et australiennes pratiquant sensiblement le même traitement.

Dans le second cas la liqueur peut être moins purifiée et l'électrolyse s'effectue à fort ampérage, disons 1 000 A par m^2. C'est le procédé Taïton qui va être mis en pratique industrielle à Kellogg (Idaho)

Digitized by Google

où la quantité de métal déposée par heure est beaucoup plus forte avec une installation notablement plus réduite.

Ce dernier procédé permet donc, toutes proportions gardées, de traiter un tonnage très considérable de zinc contenu dans des minerais et le cadmium contenu dans les boues de purification de l'électrolyse croîtra en rapport avec la capacité de traitement de l'usine.

Ces premières données ainsi rapidement exposées, résumons les grandes lignes du traitement des boues déposées pendant la purification de la liqueur d'électrolyse. Du fait que la solution d'acide sulfurique faible ou forte suivant le cas aura servi à dissoudre le zinc des concentrés grillés à l'état de sulfate de zinc et ceci jusqu'à neutralisation, la liqueur se trouvera en grande partie purifiée par précipitation du fer de l'arsenic et de l'antimoine contenus.

La liqueur filtrée sera surtout à base de sulfates de cuivre, de zinc et de cadmium. Ce sont ces trois métaux qu'on précipite par un excès, s'il le faut, de poudre de zinc. Le magma formé est filtré, mis à l'abri de l'air pour éviter l'oxydation du cuivre qui deviendrait soluble et sert de matière première pour la préparation du cadmium.

Traitement des boues cadmifères.

Il faut envisager deux cas selon qu'il y a encore de l'arsenic présent ou non. Ceci a de l'importance non seulement pour le prix de revient du traitement, mais aussi en raison des grands dangers d'intoxication qu'offre cette partie des opérations.

Les phases du procédé sont les suivantes :

1° Lixiviation de la boue cuivre-cadmium-zinc avec de l'acide sulfurique dilué;

2° Séparation de la boue cuprifère non dissoute et de la solution filtrée de sulfate de zinc et de cadmium mélangé;

3° Précipitation du cadmium de cette solution sous forme de cadmium spongieux;

4° Dissolution du cadmium isolé ainsi, dans de l'acide sulfurique en dissolution chaude pour constituer l'électrolyte à base de sulfate de cadmium;

5° Elimination du fer résiduel de la liqueur ainsi préparée;

6° Elimination du thallium quand il y a lieu;

7° Electrolyse du métal;

8° Fusion des cathodes déposées, coulées en deux opérations et finalement en baguettes, emboîtage pour la vente.

Digitized by Google

Lorsque la boue Cu-Zn-Cd est arsenifère l'ordre des opérations de purification devient le suivant :

1° Lixiviation de la dite boue de Cu-Cd-As au moyen d'acide sulfurique dilué par un procédé spécial assumant l'échappement à l'air libre dans l'air de AsH^3;

2° Séparation de la boue cuivreuse résiduelle de la solution;

3° Addition dans la solution d'une quantité de sulfate de fer suffisante pour pouvoir se combiner aux traces restantes d'arsenic et élimination de cette impureté par enrobage dans l'hydrate de fer formé et oxydé au moyen d'un brassage d'air comprimé;

4° Précipitation à l'état spongieux du cadmium.

Les opérations suivantes sont les mêmes que dans le cas précédent.

Voici quelques détails résumés sur tout l'ensemble : le précipité Cd-Zn-Cu est lixivié à 60°C avec une liqueur contenant 250 g de SO^4H^2 par litre; il faut agiter et évacuer éventuellement les fumées toxiques. Après neutralisation au moyen de calcaire et de chaux hydratée, le résidu de cuivre noir insoluble est séparé par filtration. Il sera transformé en cuivre noir.

La liqueur filtrée est traitée pour séparer le cadmium du zinc. On opère le plus souvent un dépôt galvanique du cadmium sur des feuilles cylindriques de zinc électro de 2 mm d'épaisseur dans des cuves verticales avec agitation. On arrive ainsi à l'épuiser de son cadmium. Par contre la teneur en zinc s'élève de près de 50 pour cent et cette liqueur de sulfate de zinc est envoyée à la salle d'électrolyse de zinc. Le cadmium spongieux recueilli à la surface des feuilles de zinc est dissous dans la liqueur épuisée en cadmium mais enrichie en acide sulfurique sortant de l'atelier d'électrolyse du cadmium. Il faut toutefois la réchauffer au préalable à 50 ou 60°C par une circulation de vapeur.

On concentre à raison de 90 à 100 g de cadmium par litre. Puis on éliminera les traces restantes de fer au moyen de chaux hydratée et en présence d'un brassage d'air pour favoriser l'oxydation du fer qui se précipite et qu'on filtre.

En cas de présence de thallium dépassant 0,4 g par litre on élimine ce dernier par précipitation au moyen de bichromate de potasse.

La liqueur ainsi définitivement purifiée est prête pour l'électrolyse du cadmium.

L'électrolyse, pour éviter la formation de nodules et d'arborescences se fait sur cathodes en aluminium circulaires et rotatives à raison de 1,5 t : mn. On évite ainsi les défauts de surface précités

Digitized by Google

et la formation de gaz occlus gênants pour la fusion. Les disques en aluminium ont 1,216 m de diamètre et 4,8 mm d'épaisseur. Il y en a neuf portés sur un arbre en acier tournant sur des coussinets isolants en porcelaine, et dont l'axe est à 749 mm au-dessus du bain, d'où une immersion d'un secteur dans le bain sur 467 mm de hauteur, soit une surface de 0,815 m². Les neuf disques ont 229 mm d'écartement. Ils sont serrés entre eux sur l'arbre par un renfort dont les faces sont placées pour donner un contact électrique parfait.

Il y a trois cuves, deux en service, une de rechange pour le roulement. Chacune reçoit 700 litres de liqueur jusqu'à un repère fixe pour correspondre à la hauteur d'immersion requise.

Les cuves et les canalisations de liqueur sont revêtues en plomb.

Il y a quelques soins à prendre pour éviter les fuites de courant à la masse et par suite un dépôt de cadmium sur le chemisage en plomb de la cuve, d'où réduction du rendement et détérioration.

Les anodes insolubles sont en plomb; il y en a une paire par cathode, elles sont en parallèle, le courant entrant par les anodes, sort par un dispositif collecteur de courant placé en bout d'arbre et rejoint la ligne distributrice du courant.

Théoriquement 1 000 A déposent 2,096 kg de cadmium par heure. La chute de voltage par cuve étant une moyenne de 4 V, le rendement du moteur générateur de C.C de 84 pour cent avec une perte en ligne de 0,4 V, la dépense est en 24 heures pour les 1 200 A distribués dans les cuves :

$$24 \times (1\,200 \times 8{,}4) : 0{,}84 = 288 \text{ kWh.}$$

Or, avec un rendement constaté de l'ampérage de 85 pour cent et pour deux cuves, on a un dépôt de :

$$2 \times 24 \times 2{,}096 \text{ kg} \times 1{,}2 \times 0{,}85 = 102{,}5 \text{ kg.}$$

Energie nécessaire pour séparer 1 kg

$$288 \text{ kWh} : 102{,}5 = 2{,}8 \text{ kWh.}$$

La densité moyenne de travail à raison de 9 disques

$9 \times 0{,}815 = 7{,}3 \text{ m}^2$ est $\dfrac{1\,200 \text{ amp.}}{7{,}3} = 163$ amp. par mètre carré.

Le poids moyen déposé par cuve et par 24 heures est de 50,8 kg, soit un peu plus de 100 kg par jour pour l'installation.

Le cadmium s'oxydant très facilement, la fusion se fait en deux fois. On fond le cadmium recueilli sur les disques dans des pots en fonte à l'abri de l'air sous une couche assez épaisse d'huile à cylindre ne s'enflammant qu'à très forte température.

Digitized by Google

Le métal ainsi coulé en petits lingots de 23 kg est refondu dans des pots en fonte à l'abri d'une couche de soude caustique. On compte une dépense de 2 litres d'huile par 100 kg pour la première fusion et 700 gr de soude caustique pour la seconde.

Le cadmium final est coulé en baguettes de 8 mm de diamètre sur 300 mm de long.

La main-d'œuvre estimée à 63 ouvriers-heure se répartit à raison de 26 pour les opérations de lixiviation, purification et autres; 5 à la salle d'électrolyse; 8 à la première coulée; 6 à la seconde et 8 pour le nettoyage des baguettes et la mise en caisses pour expédition aux acheteurs.

On obtient un métal dont le prix anglais, meilleur marché que le prix domestique américain, protégé par une taxe de 15 pour cent *ad valorem*, est actuellement de 1 sh 11 pence, soit au cours de 124-or, un peu plus de 26 francs le kilo.

Ce métal répond à la composition suivante à quelques variations près : Cd = 99,85, Pb = 0,05, Fe = 0,02, Cu = 0,07.

Il faut parfois compter jusqu'à 0,1 au maximum de zinc. On sait que ce métal donne des alliages très remarquables pour métaux antifriction et soudures avec le plomb, le magnésium, le mercure, le bismuth, etc... Il procure une résistance accrue au cuivre, fils téléphoniques, etc... Il sert dans l'industrie des pigments, du lithopone et pour des revêtements très résistants aux acides, sur le fer, le cuivre, etc...

Répondant à une question de M. Chaumat, M. Altmayer fait connaître que, dans le procédé à basse acidité, la consommation de matière colloïdale est de 28 à 42 grammes par tonne de Zn et qu'elle est de 1 360 grammes par tonnes de Zn dans le procédé à haute acidité.

M. Charles Marie remercie M. Altmayer de sa communication; non seulement celui-ci a rendu service à ceux de ses auditeurs à qui le temps manque pour se tenir au courant de tout, mais il a apporté à la présentation de son étude une contribution personnelle originale fort intéressante dont nous lui savons le plus grand gré.

Digitized by Google

L'OSCILLOGRAPHE CATHODIQUE DUFOUR

Observations de M. FALLOU à la communication de M. GONDET.

En lisant dans le bulletin de janvier 1928 la communication de M. GONDET sur l'oscillographe cathodique Dufour, je trouve mon nom cité à propos de la mise au point du rupteur synchrone qui facilite considérablement l'emploi de l'appareil.

Je tiens à signaler ici que, si la mise au point de cet appareil dans sa forme simple actuelle est due effectivement à la collaboration de M. Gondet et de moi-même, l'idée essentielle d'utiliser un courant de balayage sinusoïdal décalé de 90° sur la tension d'alimentation du tube, m'a été suggérée il y a deux ans par MM. Eachron et Wade, Ingenieurs à la General Electric C°, qui utilisaient déjà un dispositif analogue dans leur Laboratoire de Pittsfield.

C'est pour moi un agréable devoir de rétablir la priorité de cette invention en faveur de MM. Eachron et Wade, puisqu'il me fournit l'occasion de témoigner publiquement à ces Ingénieurs toute ma reconnaissance pour l'accueil cordial qu'ils m'ont réservé dans leur laboratoire.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Visite des Usines de Boulogne et de l'Avenue de Breteuil, de la Société « Le Matériel Téléphonique ».

Une délégation du bureau de la Société et les Membres de la 5e Section de son Comité, grâce à l'aimable initiative de M. André, Administrateur du Matériel Téléphonique, ont visité les usines de cette Société et notamment celle tout à fait moderne de Boulogne-sur-Seine, qui est consacrée à la fabrication des appareils téléphoniques et des câbles.

L'organisation minutieuse de tous les services s'explique par la nécessité de produire en très grande série des objets dont le bon fonctionnement exige d'autre part une exécution extrêmement précise.

Les matières permières sont soumises dès leur réception à des essais de dureté et d'emboutissage pour les métaux, tandis que les isolants sont examinés au point de vue diélectrique.

L'atelier de poinçonnage possède 121 presses dont une de 160 tonnes, pour l'emboutissage en une seule passe des postes métalliques modèle 1924. A ce département sont adjoints les fours à recuire et une salle de décapage avant recuit. Les traitements thermiques soigneusement étudiés, aux points de vue mécanique et magnétique, que nécessitent l'écrouissage sont rigoureusement suivis. La température des fours est contrôlée en grandeur et en durée, au moyen de pyromètres avec un enregistreur pour 6 fours.

Le département très important d'outillage comprend 78 machines dont 15 à rectifier et une à pointer de haute précision pour la fabrication à 5 : 1 000 de mm près de calibres et outils. Les appareils de vérification comprennent un comparateur optique à grossissement 50 pour la vérification de la forme des filets, un comparateur au 1/1 000 de mm, un diviseur universel, qui permettent d'assurer les tolérances requises de l'ordre de 1/100 mm.

Le deuxième étage contient 120 perceuses de 1 à 20 broches, ainsi

Digitized by Google

que le département de finissage avec cuves de décapage, nickelage, zinguage, dorure, argenture, le sablage, le polissage, enfin le vernissage à l'aérographe avec cuisson du verni au four.

Le magasin des pièces détachées tire son importance du nombre considérable (10 000 pour la téléphonie automatique) de pièces différentes à assembler. L'assemblage aux 4e et 5e étages comporte des soins minutieux pour le réglage des relais (vérification des entrefers par jauges, pressions des ressorts de contact) des sélecteurs, chercheurs, du système automatique Rotary.

Chaque service comporte une section d'inspection, tandis que le Service technique effectue lui-même un contrôle complémentaire par prélèvements sur le matériel ainsi vérifié.

Les 5e et 6e étages sont consacrés à l'administration de l'Usine et aux études de fabrication, ainsi qu'aux Laboratoires de physique et de chimie, pour les recherches sur les matières premières et l'étude des nouveaux procédés de fabrication.

L'Usine pour la fabrication des câbles téléphoniques est installée dans deux bâtiments séparés et est également pourvue d'un laboratoire d'essais. Par son équipement et ses moyens de production, cette usine peut être considérée comme une des plus modernes de la région Parisienne.

La Société dispose en outre, Avenue de Breteuil, d'un vaste établissement où est installé le service technique, où s'opèrent le montage et les essais des « baies automatiques » cadres métalliques portant les appareils de téléphonie automatique, enfin où est en voie d'installation un important laboratoire destiné aux recherches de toute nature se rapportant aux communications électriques.

Les membres du bureau ont été guidés au cours de cette très intéressante visite par M. le Général Hellot président de la Société, M. André, Administrateur-délégué, M. Domange, directeur commercial, M. Robert, directeur des ateliers, enfin par les ingénieurs des usines, qui ont bien voulu leur prodiguer toutes les explications désirables et ont notamment attiré leur attention sur les ressources que pourrait présenter au point de vue général et éventuellement pour la Société des Electriciens, un nouveau Laboratoire de recherches, analogue par l'étendue et la généralité de son objet, aux Laboratoires du même genre qui existent déjà en Angleterre et aux Etats-Unis.

Digitized by Google

Réunion du Congrès International d'Eclairage en 1928.

L'illuminating Engineering Society, 29 west 39e rue, New-York, nous rappelle que cette réunion se tiendra en septembre à Saranac Inn, New-York : on y étudiera toutes les questions relatives à l'éclairage et à ses diverses applications; les délégués étrangers pourront se rendre compte de la pratique américaine de l'éclairage au cours d'une excursion organisée dans la partie orientale des Etats-Unis.

Le Canada prépare de son côté, une visite des chutes du Niagara et de Toronto sous la direction du Professeur G. R. Anderson, de l'Université de Toronto.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS

SOMMAIRE

1re Section. — Organisation de la Semaine d'Octobre 1928, p. 526. — Suite de l'Etude des moteurs électriques de laminoirs, p. 526. — Tolérance sur les pertes et sur la puissance réactive, p. 529.

4e Section. — La technique nouvelle des disjoncteurs dans l'huile à grande puissance de rupture et à haute tension. (M. Traverse), p. 531. — Enquête sur la sélection auprès des Producteurs et Distributeurs, p. 332.

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Président M. Girault.

Séance du 2 mars 1928. — I. — *Organisation de la semaine d'octobre* 1928. — La Section propose la présentation des rapports suivants :

1° Etude des moteurs électriques de laminoirs (M. Grivet).

2° Détermination des efforts électrodynamiques dans les transformateurs (M. Roth).

II. — *Suite de l'étude des moteurs électriques de laminoirs.* — M. Grivet présente une étude intitulée « Quelques réflexions pratiques sur les moteurs électriques des laminoirs irréversibles à une seule vitesse ».

Considérant d'abord le cas des laminoirs à volant, M. Grivet examine les moteurs électriques au point de vue :

a) De la capacité de surchage.
b) Du glissement.
c) De la courbe des vitesses en fonction des puissances.
d) De la vitesse à vide.
e) De la sécurité de marche.

A. — En ce qui concerne la capacité de surcharge, le moteur de laminoir doit être prévu de manière à supporter les pointes les plus

Digitized by Google

fortes que lui transmettra le laminoir durant sa marche. En dépit de nombreuses études qui ont conduit à des formules donnant la puissance normale de laminage, il est toujours nécessaire, en pratique de multiplier les valeurs tirées de ces formules par un coefficient qui peut atteindre 5 pour tenir compte des aléas divers. Les nombreuses variables qui faussent les calculs les mieux établis sont principalement : le serrage des cylindres, la température du métal, les frottements des tourillons des cylindres, etc... L'électrification des laminoirs permettra de relever pour chaque profil laminé tous les renseignements utiles concernant la puissance, et permettra une détermination plus précise des moteurs des nouveaux laminoirs à installer.

B. — Dans les laminoirs irréversibles à volant, la nature du glissement est l'un des facteurs primordiaux de la bonne utilisation du volant. L'emploi du volant, introduit dans les laminoirs avec la machine à vapeur, nécessite de consentir à une chute de vitesse qui doit être aussi réduite que possible, car le laminage s'effectue d'autant mieux que la vitesse est plus constante. A cet égard, le moteur triphasé en cascade avec un moteur à collecteur ou toute autre machine de récupération, a pour avantage de récupérer la perte due au glissement.

C. — La caractéristique idéale d'un moteur de laminoir à volant

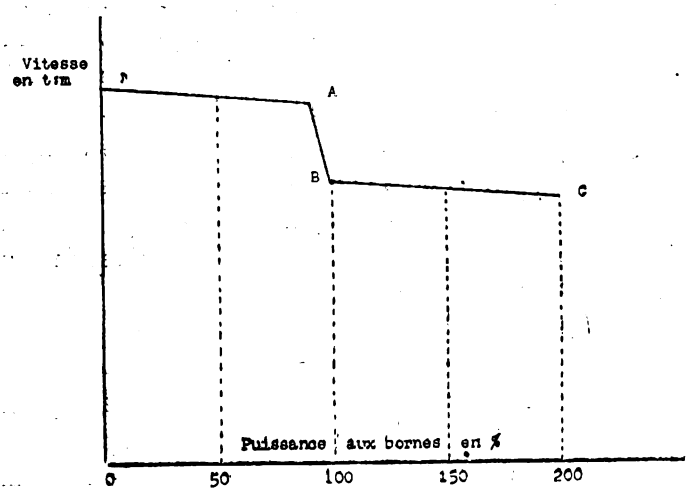


Fig. 1. — Caractéristique d'un moteur de laminoir à volant.

doit être la caractéristique OABC de la figure 1, c'est-à-dire comprendre :

Digitized by Google

1° Une partie OA à très faible chute de vitesse dans la zone comprise entre 0 et 100 pour cent de la charge;

2° au point 100 pour cent de la charge une partie AB à très grande chute, le point B n'étant qu'exceptionnellement atteint au cours du laminage;

3° au delà de 100 pour cent de la charge, une partie BC à très faible chute de vitesse.

Une telle caractéristique a les avantages suivants :

a) utilisation rationnelle du volant qui entre en action lorsque le moteur a épuisé sa capacité normale de charge;

b) fonctionnement du moteur à puissance constante;

c) remontée rapide du volant une fois le laminage terminé;

d) vitesse plus régulière du laminage, la vitesse moyenne se rapprochant de la vitesse à vide.

Une semblable caractéristique devrait se compléter par la possibilité de faire varier la position AB de façon à faire travailler le moteur à des charges différentes suivant les profils à laminer. Malheureusement aucun des moteurs actuellement construits ne possède une caractéristique naturelle se rapprochant de cette caractéristique idéale. Toutefois, on parvient à s'en rapprocher par le moyen d'artifices divers utilisant des régulateurs ou des relais.

D. — Il y a un ajustement de la vitesse optimum qui s'impose pour obtenir le meilleur laminage avec une production maximum. Comme un train de laminoir n'est généralement pas spécialisé à une seule catégorie de profils, les lamineurs sont amenés à demander des moteurs capables d'une infinité de vitesses à vide comprises entre deux limites extrêmes. D'où l'emploi d'une grande variété de moteurs plus ou moins compliqués depuis le moteur à courant continu jusqu'aux moteurs triphasés en cascade avec d'autres moteurs à collecteur.

E. — La sécurité de fonctionnement est une condition essentielle réglant la marche d'un moteur de laminoir; pour cela, plusieurs facteurs interviennent, qui sont principalement la simplicité du moteur lui-même et de son appareillage et la robustesse; le rendement et le facteur de puissance du moteur lui-même ne doivent pas être les qualités fascinantes, le rendement de l'ensemble étant seul important.

Le volant étant un organe cher, dangereux et absorbant de la puis-

Digitized by Google

sance, la tendance actuelle est à la diminution de leur masse, et même à leur suppression complète.

Cette suppression du volant est surtout une question de puissance de la part des Centrales métallurgiques; elle nécessite une capacité de surcharge accentuée de la part des moteurs d'entraînement. Les principaux avantages qui résultent de la suppression du volant sont :

a) la régularité du laminage qui se fait à vitesse presque constante;

b) un gain de production (de l'ordre de 10 à 20 pour cent) par la suppression des pertes de vitesse nécessitées par la chute et la remontée du volant;

c) une économie d'énergie;

d) une amélioration de la qualité du produit laminé;

e) une diminution de l'inertie des masses tournantes;

f) la possibilité pour le lamineur de suivre exactement au wattmètre le réglage du laminoir;

g) la simplification de l'appareillage et du moteur;

h) l'emploi plus rationnel du moteur lorsque celui-ci est à grande variation de vitesse.

M. Racape, insiste d'une part sur les avantages tirés de l'électrification des laminoirs pour le contrôle permanent et précis du laminage, et d'autre part sur la faible utilité du volant dans la plupart des cas; il cite, à cet égard, l'exemple d'un volant de 60 tonnes qui ne développe qu'une puissance de 80 ch.

M. Bene, indique que l'emploi du volant reste nécessaire pour certains laminoirs à passes très courtes.

III. — Tolérance sur les pertes et sur la puissance réactive

M. Girault présente une étude sur *la comparaison des formules de tolérance sur les pertes et le facteur de puissance, adoptées, les unes en France, les autres à l'étranger* (*Suisse, Allemagne*). Les discussions du Comité Electrotechnique international en vue d'unifier ces formules avaient d'abord conduit à adopter les formules françaises; une brusque volte-face fait actuellement pressentir l'abandon très probable de la doctrine française.

En ce qui concerne le rendement, la formule française conduit à admettre une tolérance de 10 pour cent sur les pertes mesurées; la formule allemande conduit à la formule $\frac{1-\eta}{10}$ dans laquelle η est le rendement garanti.

Digitized by Google

M. GIRAULT, rappelle tout d'abord que la conception des pertes s'applique dans tous les cas possibles, tandis que la conception du rendement ne peut s'appliquer qu'à certains cas particuliers. Il montre d'autre part, que la formule allemande, si elle se confond avec la formule française pour des valeurs élevées du rendement, conduit à des résultats dénués de sens si l'on considère des rendements suffisamment bas : en particulier le rendement toléré $\eta' = \eta - \frac{1\eta}{10}$ peut devenir négatif pour certaines valeurs du rendement garanti lorsqu'on utilise la formule allemande, et pour ces mêmes valeurs la tolérance sur les pertes passe de + l'infini à — l'infini avec la même formule allemande.

En ce qui concerne le facteur de puissance, la formule française (Boucherot) prévoit une tolérance de 10 pour cent sur la puissance réactive, tandis que la conception allemande conduit à la formule

$$\frac{1 - \cos \varphi}{6}$$

$\cos \varphi$ étant le facteur de puissance garanti.

M. GIRAULT, rappelle encore que la règle française qui fait appel à la notion de puissance réactive s'applique dans tous les cas possibles (la puissance réactive étant une quantité qui se conserve), tandis que la notion de facteur de puissance a un champ d'application restreint. D'autre part la formule allemande pour le facteur de puissance conduit aux mêmes absurdités que la formule pour le rendement : le facteur de puissance toléré peut devenir négatif pour certaines valeurs suffisamment basses du facteur de puissance garanti.

Une discussion à laquelle prennent part MM. DARRIEUS, FALLOU, GIRAULT et de PISTOYE, s'ouvre sur les facilités d'emploi respectives des formules françaises et allemandes. M. DARRIEUS, montre que la valeur de la puissance réactive est donnée immédiatement lors de la mesure de la puissance active par la méthode des deux wattmètres : la puissance active étant $W_1 + W_2$, la puissance réactive est

$$\sqrt{3}(W_1 - W_2).$$

La formule française ne nécessite donc pas nécessairement le calcul de la puissance réactive à partir du facteur de puissance. Au cours de la discussion plusieurs exemples sont fournis, montrant qu'en général la substitution de la mesure de la puissance réactive à celle du facteur de puissance présente des avantages considérables et conduit, dans la pratique courante, à des simplifications fort importantes.

Digitized by Google

4e SECTION.

CANALISATION. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. — TRACTION.

Présidence de M. BRYLINSKI

SÉANCE DU 8 MARS 1928. — M. le Président souhaite la bienvenue à MM. KLONINGER et KOPELIOVITCH venus de Suisse pour assister à la réunion.

I. — *La technique nouvelle des disjoncteurs dans l'huile à grande puissance de rupture et à haute tension.*

M. TRAVERSE, résume une communication sur « l'Orientation actuelle de la construction des disjoncteurs dans l'huile ».

Cette communication présentée en séance publique d'avril 1928, paraîtra in-extenso dans le Bulletin.

A la suite de cette communication, s'ouvre une discussion à laquelle prennent part MM. KLONINGER, TRAVERSE et KOPELIOVITCH. M. KLONINGER fait remarquer que les interrupteurs à ruptures doubles sont toujours suffisants pour les tensions basses et moyennes, tandis que les avantages de la rupture multiple apparaissent pour les appareils à très haute tension.

Lorsque la tension atteint et dépasse 60 000 V, la longueur des arcs devient considérable et nécessite de grandes vitesses de l'équipage mobile. Les interrupteurs à contacts multiples permettent d'augmenter cette vitesse, et d'obtenir, dès l'ouverture des contacts, une vitesse moyenne plus élevée qu'avec les interrupteurs à rupture double.

Diverses circonstances, telles que le soufflage magnétique, rendent impossible, d'après M. KLONINGER, de calculer la longueur des arcs et la contrainte subie par un interrupteur : des essais nombreux et systématiques permettent seuls de tirer des conclusions certaines.

Enfin, M. KLONINGER confirme l'opinion émise par M. TRAVERSE, d'après laquelle les bulles gazeuses autour des contacts se développent radialement pendant toute la durée de l'arc, la force ascensionnelle des gaz étant négligeable.

M. KOPELIOVITCH, insiste sur la nécessité d'effectuer, dans les laboratoires d'essais, des essais systématiques, et sur la difficulté qu'il y a généralement de tirer des conclusions certaines d'essais compara-

Digitized by Google

tifs insuffisamment nombreux portant sur des appareils très différents.

Il rappelle que les chambres d'explosion peuvent faciliter la rupture de très fortes intensités, mais favorisent les rallumages d'arcs successifs lorsque le courant à couper n'est pas suffisamment intense. A cet égard, les interrupteurs à chambre d'explosion sont capables de rendre plus dangereuses les coupures de transformateurs à vide.

M. TRAVERSE estime que la légèreté de l'équipage des interrupteurs à rupture double facilite l'augmentation d'accélération que l'on peut leur donner, et constitue un avantage en faveur de ce dispositif.

II. — *Enquête sur la sélection auprès des Producteurs et Distributeurs.*

M. VILLIERS rend compte de l'enquête effectuée auprès des producteurs et distributeurs au sujet de la protection sélective contre les court-circuits.

Cette question soulève des problèmes différents suivant qu'il s'agit de protéger : *a*) les Centrales; *b*) les lignes de grand transport; *c*) les lignes de distribution à très grand courant de court-circuit; *d*) les lignes de distribution à faible courant de court-circuit.

a) La protection des organes de production et de transformation peut être assurée d'une manière pleinement satisfaisante au moyen de dispositifs différentiels. La protection des jeux de barres constitue un problème plus délicat, et n'est généralement réalisée, faute de mieux, que par des relais de surintensités temporisés.

b) En ce qui concerne la protection des lignes de grand transport, M. VILLIERS se rallie aux conclusions du rapport de M. FALLOU.

d) La protection des lignes de distribution à très grand courant de court-circuit est généralement assurée par des relais de surintensité temporisés. Eu égard aux faibles temporisations qu'il est impossible de dépasser, ces relais donnent rarement satisfaction au point de vue de la sélection qu'ils soient à temps constant ou à caractéristique décroissante en fonction de l'intensité. Le dispositif à fusibles utilisé par l'Ouest Lumière fournit une solution simple et très sûre du problème de la sélection dans le cas de distributions radiales. La mise au point d'interrupteurs à coupure très rapide (tels que l'appareil Pecheur) est susceptible de faciliter grandement la solution du problème.

Digitized by Google

d) Dans les réseaux à faible courant de court-circuit tels que les réseaux ruraux, il est possible d'admettre de larges temporisations, et la protection par relais temporisés donne satisfaction.

A la suite de cette communication :

M. TRAVERSE fait observer que l'emploi d'interrupteurs ultra-rapides peut être dangereux à cause des surtensions qui se produisent si le courant de court-circuit est coupé avant son passage au zéro.

M. KLONINGER estime que le relais d'impédance apporte la solution du problème de la sélection, au moins dans le cas de lignes aériennes de longueur importante.

III. — *Les électrobus à trolley.*

M. COLLARDEAU fait une communication sur *les électrobus à trolley et sur la traction électrique par moteurs compound* (1).

(1) Cette communication paraîtra in-extenso dans un Bulletin ultérieur.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production et utilisation mécanique de l'électricité

Moteurs asynchrones polyphasés à plusieurs vitesses, par H. de Pistoye, Ingénieur E. C. P. et E. S. E., Professeur à l'Ecole Supérieure d'Electricité. — Paris, *Revue générale de l'Electricité*, éditeur, 1927 ; un vol. broché 27 cm × 22 cm, de 152 pages, avec 205 figures [25 francs]. (Don de l'éditeur).

Télégraphie. — Téléphonie. — Transmissions par ondes.

Comité consultatif international des Communications Téléphoniques à grande distance. Assemblée plénière de Côme, 5-12 septembre 1927. — Paris, publié par le Comité consultatif international des Communications Téléphoniques à grande distance, 1928; un vol broché 25 cm × 19,5 cm, de 169 pages, avec figures dans texte (Don du Comité consultatif international).

Méthodes et appareils de mesure
Compteurs. — Essais de machines.

Moyens de fausser les indications des compteurs électriques et mesures à prendre pour s'en préserver, par A. Geldermann, Dr-Ing., Professeur à l'Ecole Nationale Industrielle de Buenos-Aires. — Traduit de l'allemand par Roger Weiller, ancien élève de l'Ecole Polytechnique de Zurich, Ingénieur à la Compagnie Thomson-Houston, — Paris et Liége, Librairie polytechnique Ch. Béranger, 1926; un vol. broché 22 cm × 13,5 cm, de x-130 pages, avec 109 figures dans le texte (Don de l'éditeur).

Congrès. — Expositions. — Sociétés. — Syndicats.
Actes officiels. Etudes économiques. Statistiques. Commémorations.

L'Annuaire de l'Electricité, de la T. S. F. et des Industrie électriques, par Camille Rousset. — 35e édition, mai 1928. — Paris, *Les Annuaires* Camille Rousset, Caron frères et Vacheron, éditeurs ; un vol. relié toile 24 cm × 16 cm, de XLVI-2119 pages. (Don des éditeurs).

Annuaire France-Amérique, 1926-1927. Répertoire de l'Exportation française aux États Unis, au Canada et dans l'Amérique latine. — Paris, Les Éditions « France-Amérique », 9 et 11 Avenue Victor-Emmanuel III, 1928 ; un vol. relié toile 24 cm × 16 cm, de 272 et 324 pages, avec 87 gravures hors texte. (Don des éditeurs).

The Record of the Celebration of the Two Hundredth Anniversary of the founding of the American Philosophical Society, held at Philadelphia for promoting useful Knowledge, april 27 to April 30, 1927. Proceedings, volume

Digitized by Google

66.— Printed for the American Philosophical Society, Philadelphia, 1927 ; un vol. relié toile 26 cm × 18 cm, de XIII-750 pages, avec nombreuses figures. (Don de l'American Philosophical Society).

John Fritz Medal. Biography of Elmer Ambrose Sperry, Medalist for 1927. — New York, december 1926 ; une brochure 23 cm × 15 cm, de 6 pages, avec 1 portrait hors texte. (Don de l'American Institute of Electrical Engineers).

John Fritz Medal. Biography of John Joseph Carty, Medalist for 1928. — New-York, January 1928, une brochure 23 cm × 15 cm, de 6 pages, avec 1 portrait hors texte. (Don de l'American Institute of Electrical Engineers).

Le Comte de Cavour et la Houille blanche, par Marcel MIRANDE, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, ancien président de la Société Scientifique du Dauphiné. — Grenoble, Imp. Allier père et fils, 1927 ; une brochure 25 cm × 16 cm, de 40 pages. (Don de la Société Scientifique du Dauphiné).

Instructions sur l'exécution des Installations électriques, établies par le Groupement des Associations françaises des Propriétaires d'appareils à vapeur et l'Association des Industriels du Nord. – Edition 1924, revue en 1927, accompagnée de *Commentaires* rédigés par MM. J. TOUPET, Ingénieur principal, et V. KAMMERER, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne — Mulhouse, Imp. Bader et Cie, 1927, un vol. broché 24 cm × 15 cm, de VI-234 pages, avec 24 figures. (Don du Groupement des Associations).

GÉNÉRALITÉS, ETUDES THÉORIQUES, RECHERCHES PHYSIQUES.

Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau central de Magnétisme terrestre, publiées par les soins de Ch MAURAIN, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Institut de Physique du Globe. TOME VI. — Paris, Les Presses Universitaires de France, 1928 ; un vol. broché 33 cm × 26 cm, de 148 pages avec figures. (Don de l'Institut de Physique du Globe).

Problema Cavitatiunilor si a Corosiunilor, par le Dr Inginer DORIN PAVEL. — Publication n° 12 de l'Institut national roumain pour l'étude de l'aménagement et de l'utilisation des sources d'énergie – Bucaresti, 1928; une brochure 23 cm × 16 cm, de 38 pages, avec 19 figures. (Don de l'Institut national roumain).

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité

La Technique du bobinage des machines électriques (*dynamos, alternateurs, moteurs, transformateurs*), par R Bardin, Ingénieur-électricien, 1 vol. in-16 broché de 72 pages, avec 36 fig. Prix : 6 fr. — Desforges, Girardot et Cie. Éditeurs, 27 et 29 Quai des Grands-Augustins, Paris (6e)

Cet ouvrage étudie les différents modes d'enroulements utilisés dans les machines électriques, en développant les modes de construction employés dans les divers systèmes inducteurs et induits.

Un avant-propos rappelle les propriétés des courants alternatifs simples et polyphasés, ainsi que les propriétés du courant continu. Cet avant-propos se borne aux connaissances qu'il est indispensable de connaître, pour bien comprendre la technique des enroulements.

L'auteur examine ensuite, en détail, les enroulements utilisés dans les inducteurs et induits des dynamos à courant continu, des alternateurs monophasés et polyphasés, des moteurs à courant alternatif et des transformateurs. Chacune de ces études est présentée sans mise en œuvre de formules compliquées et complétées par une partie pratique sur la confection de ces divers enroulements.

En résumé, le technicien et le praticien trouveront, dans cet ouvrage les éléments nécessaires pour la confection ou la réparation des enroulements des machines électriques ; connaissances condensées sous la forme la plus simple possible, demandant le minimum de temps pour s'initier ou se perfectionner sur cette question importante, que tous les électriciens ou usagers de machines électriques doivent connaître.

Utilizzazioni di forze idrauliche Impianti idroelettrici, par Ing. Prof Francesco Marzolo, della R. Senola d'engegneria di Padova. Padova 1926.

Cet ouvrage est consacré à l'étude des conditions générales d'installation des ouvrages hydrauliques et se réfère principalement aux centrales électriques italiennes Les considérations techniques et les nombreuses illustrations qu'il contient sont d'un très grand intérêt pour tous les Ingénieurs et les exploitants des usines hydroélectriques.

Considérations sur l'auto-excitation des alternateurs branchés aux lignes de haute tension, par Georges Petresco, Ingénieur de la Société anonyme roumaine « *Electrica* ».

Publication de l'Institut National Roumain pour l'étude de l'aménagement et de l'utilisation des sources d'énergie. — Bucarest, 1927

Dans ce rapport qui a été présenté à la 4e Section de la conférence internationale des grands réseaux électriques à haute tension (juin 1927) l'auteur étudie l'autoexcitation dans le cas des alternateurs à faible et à forte réaction d'induit et in-

Digitized by Google

dique une méthode de prédétermination des conditions d'autoamorçage et de stabilité de fonctionnement de ces alternateurs.

INSTALLATION

Album de plans de pose et de schémas d'électricité industrielle, par Alfred SOULIER, Ingénieur-électricien. — 1 volume cartonné de 232 pages, in-8 oblong. Librairie Garnier, frères, éditeurs. Prix : 12 fr.

Cet album de plans et de schémas constitue une source de renseignements des plus précieux pour toutes installations, depuis les sonneries jusqu'aux équipements électriques des automobiles, dynamos, moteurs, transformateurs, etc...

L'ouvrage est précédé d'un tableau des signes et symboles particuliers qui y sont employés. Nous ne pouvons que féliciter et remercier notre collègue M. Soulier, d'avoir mis entre les mains des électriciens cet excellent instrument de travail.

TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSIONS PAR ONDES

Comment construire soi-même le meilleur des redresseurs de courants alternatifs, par C. RIALLAND, brochure 47 pages, 25 figures. Desforges, Girardot et Cie 27 quai des Grands Augustins, Paris. Don de l'éditeur.

Ce petit livre s'adresse tout particulièrement aux amateurs de T.S.F., qui désireraient recharger leurs accumulateurs sur un secteur alternatif et qui de plus aimeraient à construire eux-mêmes et à bon marché, au moyen d'outils simples et de quelques pièces faciles à trouver, un bon redresseur « de courant ». Après un exposé très sommaire de la question du « redressage d'un courant alternatif », l'auteur cite et critique les principaux types de petits redresseurs. Celui qu'il propose à l'amateur est le redresseur à collecteur tournant entraîné par moteur synchrone. Il en donne très simplement le principe, en décrit chacune des pièces d'une manière très détaillée et indique la façon dont un amateur peut le construire.

Circuits de transmission pour communications téléphoniques. Procédés d'étude et de détermination, par K.-S. JOHNSON. Traduit de l'anglais sous la direction de E.-M. DELORAINE, preface de M. L. DROUET. Paris, GAUTHIER, VILLARS et Cie, 1928. Un vol. relié toile $25^{cm} \times 16^{cm}$ de XI. 348 pages.

Cet ouvrage reproduit le cours professé depuis de longues années aux ingénieurs des bureaux d'étude du système Bell, par M. K.-S, Johnson, un des techniciens les plus qualifiés du Nouveau-Monde, où les problèmes de la téléphonie ont trouvé le plus vaste champ d'application, et où des réalisations pratiques particulièrement heureuses ont été faites.

Dans ce cours, l'auteur s'est attaché particulièrement à la détermination du rapport de l'intensité reçue à la sortie d'un système téléphonique, à la valeur de la tension appliquée à l'entrée. Le problème est simple en soi et n'exige que des calculs élémentaires. Mais un choix judicieux des méthodes d'exposition et des procédés de calcul, une adroite ordonnance des sujets étudiés ont permis à l'auteur d'établir sans longueurs, un nombre considérable de formules directement applicables, relatives à des données diverses. Des exemples numériques nombreux illustrent d'ailleurs cet exposé très complet et très précis. Du rapprochement des résultats et de la discussion des formules se dégagent un certain nombre d'idées générales utiles pour l'étude de problèmes nouveaux.

Une partie importante de l'ouvrage est consacrée à l'étude des répéteurs téléphoniques, à la théorie et au calcul des filtres électriques, à l'étude des réseaux correctifs, toutes questions de grand intérêt à l'heure actuelle.

La traduction, faite sous la direction de M. Deloraine est à la fois précise, fidèle et élégante.

Digitized by Google

PHYSIOLOGIE

Accidents et dangers de l'Electricité, par le Docteur Paul DUHEM, Paris, Gauthier-Villars (bibliothèque des actualités physiothérapiques), 1928. Prix : 10 fr.

Cet ouvrage s'adresse aux médecins plutôt qu'aux électriciens. Il ne sera cependant pas sans rendre des services à ces derniers. Car après avoir décrit les effets des courants électriques et expliqué leur mécanisme (autant qu'on peut le faire aujourd'hui dans l'état actuel de la science), l'auteur passe en revue les statistiques des trop nombreux accidents, examine leurs causes et déduit de cette étude des renseignements importants sur les précautions à prendre pour en éviter le plus possible le retour

Enfin l'ouvrage se termine par l'examen de la conduite à tenir en cas d'accident et l'indication du traitement à appliquer aux blessés.

AIDE-MÉMOIRE. — FORMULAIRES. — MANUELS.

Le Chef mécanicien-électricien. Tome IV : *Électricité générale*, par A.-E. BLANC, Ingénieur électromécanicien. 1 vol. in-16 broché de 607 pages avec 230 figures Prix : 45 fr. — DESFORGES, GIRARDOT et Cie, ÉDITEURS, 27 et 29, Quai des Grands-Augustins, Paris (6e).

Ce quatrième volume de la collection « Le chef mécanicien-électricien » traite l'électricité générale et présente la même clarté d'exposition que les précédents. Après l'étude des phénomènes et des lois de l'électricité, l'auteur étudie les mesures, les piles et les transformateurs, puis les dynamos et alternateurs, pour arriver ensuite à l'utilisation des courants : éclairage, distribution de l'électricité et télécommunication. Ce volume, nécessaire à celui qui veut étudier l'électricité, aura le même succès que les autres livres de cette collection.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

Réunion hebdomadaire du 4 Mai 1898.

M. Picou prend possession de la présidence et rappelle que l'année 1897 a été marquée par une souscription réservée aux seuls membres de la Société, d'un emprunt qui a permis d'achever l'installation de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

M. Laporte expose l'étude des étalons lumineux usuels qui a été faite par le Laboratoire Central d'Electricité. Les résultats trouvés ont été controlés : pour la lampe Hefner, par l'Institut physico-technique d'Allemagne. Ils ont permis de dégager cette conclusion, de la plus haute importance pour les fabricants et les usagers de lampes françaises que la bougie Hefner ne représentait que 0,885 de la bougie décimale alors que le rapport de Violle, au Congrès de photographie de Bruxelles en 1891 attribuait à la bougie Hefner la valeur de 1,026 bougie décimale.

M. Girault présente sa communication restée classique, sur la commutation dans les dynamos à courant continu.

L'Imprimeur-Gérant ; Étienne Chiron Paris.

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion supplémentaire du 24 Mai 1928, commune avec la Société des Amis de la T.S.F. et la Société de Biologie, p. 542.
Réunion supplémentaire du 25 Mai 1928, commune avec la Société des Ingénieurs Civils de France, p. 543.
Réunion ordinaire mensuelle du Mercredi 6 Juin 1928, p. 544.
Admission de Membres titulaires, p. 544.
Membres décédés, p. 544.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

L'état actuel de la commande des laminoirs irréversibles par moteur à courant triphasé (M. JUNG), p. 548. — Multicommunication généralisée par très courtes ondes électriques, principes et applications, premières réalisations, progrès obtenus, état actuel du problème (M. TURPAIN), p. 570. — Observations de M. REYNAUD-BONIN, p. 593.

RAPPORTS ANNUELS DE LA 2e SECTION :

Les lampes à arc (M. LEBLANC), p. 594. — Les lampes à incandescence (M. MAISONNEUVE), p. 597. — Projecteurs et phares (M. MARSAT), p. 600. — L'éclairage des rues par l'électricité en France en 1927 (M. DESARCES), p. 604. — Les systèmes d'éclairage intérieur (M. WETZEL . p 613. — Les méthodes de calcul des éclairements (M. WETZEL), p. 615. — Les progrès de l'optique physiologique (Docteur COUVREUX), p. 618. — L'action thérapeutique de la lumière (Docteur SAIDMAN , p. 622. — Applications biologiques de la lumière (M. LEBLANC), p. 627. — L'éclairage des scènes de prise de films (M. LEBLANC), p. 631. — Progrès réalisés dans la technique de l'enseigne lumineuse (M. FONSÈQUE), p. 633.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 636. Texte, p. 636.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 649.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 650.

IL Y A TRENTE ANS, p. 652.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

4e série, tome VIII, juin 1928, n° 82.

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION COMMUNE

de la Société des Amis de la T. S. F.
de la Société Française des Electriciens
et de la Société de Biologie
tenue le 24 Mai 1928.

dans la Salle de la Société de Géographie.

Présidence de M. le Général Ferrié assisté de M. Imbs, Président de la Société Française des Electriciens et du Président de la Société de Biologie.

La séance est ouverte à 21 heures.

M. Balth. Van der Pol, Chef du Laboratoire de radioélectricité de la C° Philips, à Eindhoven présente une communication sur *un modèle électrique du cœur humain.*

L'auteur étudie le cas particulier où, dans l'équation différentielle bien connue qui représente le mouvement d'un système oscillant, le terme qui tient compte de l'amortissement change de signe — ce qui signifie que le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur.

Dans ces conditions et lorsque le mouvement est périodique, l'amplitude des oscillations augmente indéfiniment. Il en est de même pour l'amplitude de l'élongation lorsque le mouvement est apériodique.

Mais, dans la réalité, il n'en peut être ainsi car, en fait, le coefficient qui mesure l'apport d'énergie est fonction de l'amplitude et change de signe au delà d'une certaine valeur de cette amplitude.

Dans ces conditions, et pour un système apériodique, la courbe des élongations se compose de deux parties de même allure, l'une positive, l'autre négative, se succédant dans le temps avec régularité.

Il donne à ce phénomène le nom d'oscillations de relaxation et il en étudie quelques propriétés, dont la plus remarquable est la facilité avec laquelle ces oscillations se synchronisent avec un phénomène périodique extérieur, de fréquence quelconque.

Digitized by Google

Il constate que beaucoup de phénomènes naturels peuvent être représentés par des courbes de cette nature et en cite des exemples variés.

Il décrit enfin, le dispositif expérimental qu'il a réalisé pour figurer, à l'aide de systèmes possédant la propriété en question, les trois fonctions principales du cœur (mouvement du sinus, de l'oreillette et du ventricule).

Sur le modèle réalisé, on peut enregistrer des diagrammes très voisins des cardiogrammes obtenus sur le cœur humain et constater la similitude frappante des tracés obtenus sur un sujet présentant certaines affections avec ceux que l'appareil donne lorsqu'on provoque dans ses liaisons des troubles fonctionnels de même nature.

RÉUNION COMMUNE

de la Société des Ingénieurs Civils de France et de la Société Française des Electriciens tenue le 25 Mai 1928.

dans l'hôtel de la Société des Ingénieurs Civils de France.

Présidence de M. Soreau, Président de la Société des Ingénieurs Civils de France, assisté de M. Maurice Leblanc, Vice-Président de la Société Française des Electriciens.

La séance est ouverte à 20 h. 30.

M. Parodi fait une communication sur *l'électrification des chemins de fer du Maroc et sur la comparaison des résultats techniques d'exploitation avec ceux du réseau d'Orléans.*

L'auteur donne, comme introduction à sa conférence, un schéma général des usines de production thermiques et hydrauliques et des lignes de distribution haute tension qui alimentent les réseaux de traction. Il décrit ensuite le système de traction utilisé, en particulier sur la « Ligne des phosphates ». Il termine en montrant l'analogie entre les résultats techniques d'exploitation obtenus au Maroc et ceux obtenus sur les lignes du Chicago-Milwaukee-Saint-Paul et du réseau Paris-Orléans.

Digitized by Google

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Mercredi 6 Juin 1928

Présidence de M. IMBS.

La séance est ouverte à 20 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Bonvoisin (Léon-Etienne), industriel, constructeur de matériel électrique, 35, boulevard Richard-Lenoir, à Paris (11e). — Présenté par MM. Imbs et Eschwège.

Bonvoisin (Pierre), ingénieur à la Maison Bonvoisin, 35, boulevard Richard-Lenoir, Paris (11e). — Présenté par MM. Imbs et Eschwege.

Didieé (Louis-Joseph-Jules), ingénieur chimiste I. C. P., licencié ès sciences, ingénieur à la Société Anonyme Kodak-Pathé, 39, avenue Montaigne, à Paris (8e). — Présenté par MM. Leblanc et Darrieus.

Gugenheim (Robert), administrateur délégué de la Compagnie Electro-Industrielle à Fourchambault (Nièvre). — Présenté par MM. de Pistoye et Guilbert.

Association amicale et professionnelle des Anciens Elèves de l'Ecole d'Electricité et de Mécanique industrielles de Paris, représentée par MM. Body et Hugot, 54, rue David-d'Angers, à Paris (19e). — Présenté par MM. Chaumat et le général Ferrié.

Kloninger (Jean), ingénieur attaché à la Direction de la Société Anonyme Brown Boveri et Ce, à Baden (Suisse). — Présenté par MM. Dubertret et Darrieus

Société d'usinage de matériel électrique, représentée par MM. Frank Heaton, administrateur délégué, 26, rue Gambetta, à Boulogne-Billancourt (Seine). — Présentée par MM. Blondin et Grelley.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société française des Electriciens.

M. le Président annonce le décès de M. G. BAIGNIÈRES, Ingénieur principal honoraire des Services techniques des chemins de fer de l'Est et de M. P. Perrin, Administrateur Délégué des Etablissements Jules Richard et Administrateur de la Société pour favoriser le développement du Haut Enseignement de l'Electrotechnique en France.

Il adresse aux familles de ces deux regrettés collègues, en son nom et au nom de la Société entière, ses condoléances émues.

Il remercie les donateurs des ouvrages offerts dont la liste est donnée dans le présent Bulletin.

M. le Président rappelle en ces termes l'inauguration de la Maison d'Ampère, à Poleymieux, acquise par la Société Française des Electriciens :

« Samedi dernier, 2 juin, s'est déroulée à Poleymieux, près de

Digitized by Google

Lyon, à la mémoire de notre glorieux Ampère, une très touchante cérémonie. L'Académie des Sciences y avait délégué cinq de ses Membres : MM. DE LAUNAY, DEPERET, général FERRIÉ, JANET, Louis LUMIÈRE; M. le Préfet du Rhône s'y était fait représenter. Plus de deux cents personnes assistèrent à l'inauguration de la plaque commémorative placée sur la maison de l'illustre savant. Tous se rendirent ensuite dans le jardin où un ancien élève de l'Ecole Supérieure d'Electricité lut quelques vers composés par Ampère pour Julie CARON, qui allait devenir sa femme. Puis, après avoir passé devant le monument d'Ampère, au pied duquel Mme Janet déposa une gerbe de fleurs, ils s'arrêtèrent à la mairie de Poleymieux pour y inaugurer l'éclairage local; Ampère aurait peut-être été contristé s'il avait pu prévoir que son village serait le dernier du département du Rhône à être électrifié.

« Après un banquet, servi sur une terrasse dominant un splendide panorama, nous rentrâmes à Lyon pour entendre une conférence de M. Paul JANET sur la vie d'AMPÈRE. M. JANET projeta plusieurs lettres d'AMPÈRE écrites au moment les plus émouvants de son existence et retrouvées dans les papiers de l'Institut.

« Quand cette magistrale conférence fut achevée, les auditeurs sentirent que la manière la plus digne de manifester l'émotion qui les avait gagnés était de se recueillir dans le silence.

« Telle fut cette journée, inoubliable pour tous ceux qui y ont pris part ».

M. BOUTHILLON, Ingénieur en Chef des Postes et Télégraphes, répétiteur à l'Ecole Polytechnique, fait une communication sur *la direction des ondes radioélectriques et sur les idées et réalisations récentes dans ce domaine*. Après un court exposé théorique et un rappel des premiers travaux de M. BLONDEL et de M. BELLINI qui, à l'époque, n'avaient pas reçu d'application, l'auteur expose les divers types d'antennes employés par la Radiocorporation of America, par la C° Marconi, par la Société française radioélectrique. Il décrit la nouvelle antenne Chireix et indique les améliorations que celle-ci a permis d'apporter aux relations radioélectriques.

M. le Président remercie M. BOUTHILLON de sa communication si intéressante et si documentée : il a réussi à mettre en peu de mots, ses auditeurs au courant des progrès récemment réalisés et si propres à faire apprécier à sa juste valeur, par les étrangers, notre culture française; il leur a enfin fait entrevoir, pour un avenir prochain, des progrès plus considérables encore.

Digitized by Google

M. Chireix, Ingénieur en Chef du Service des études et recherches à la Société française radioélectrique, présente une communication sur *les liaisons téléphoniques à grande distance par ondes courtes projetées*. Il rappelle la démonstration faite le 19 mars dernier par sa Société entre Paris et Alger et d'après laquelle il est désormais possible à la France de communiquer avec ses possessions d'outre-mer. Il montre que, pour les liaisons à trafic peu développé, l'onde courte projetée constitue le seul système possible : les perturbations atmosphériques, la puissance utilisée, les brouillages, sont réduits au minimum; le facteur de sécurité est augmenté; la communication multiplex est possible tout en assurant le secret des communications.

Il est nécessaire que la fréquence et le niveau de transmission restent constants, ce que l'on contrôle au moyen de quartz piezo-électriques; l'écho peut être supprimé par des filtres.

En terminant, le conférencier annonce que la communication téléphonique Paris-Saïgon vient d'être réalisée dans des conditions excellentes.

M. Chireix ajoute que les autres pays travaillent la question des ondes courtes, mais que jusqu'ici la France garde son avance.

M. le Président observe que la modestie de M. Chireix ne lui a pas permis de développer lui-même tout ce que M. Bouthillon a dit sur sa réalisation des antennes.

En le remerciant vivement, il le félicite d'avoir été un révolutionnaire dans son domaine, car de cette révolution, c'est la France qui profitera.

M. Imbs passe la présidence à M. Reynaud-Bonin Vice-Président.

M. Cournot, Chef de Travaux de Métallurgie au Conservatoire National des Arts et Métiers, expose *les divers traitements électrochimiques qui permettent de lutter contre la corrosion des métaux ferreux*.

L'auteur rappelle que la corrosion détruit annuellement 28 pour cent des métaux ferreux produits; que, d'autre part, les métaux s'emploient à des températures de plus en plus élevées; qu'on attribue généralement la corrosion à l'effet électrolytique produit par le contact entre éléments chimiques différents (alliages impurs ou non homogènes); il décrit les méthodes employées pour étudier la corrosion : immersions alternées, brouillard artificiel d'eau salée à 20 pour

Digitized by Google

cent; une journée d'exposition à ce brouillard est, au point de vue de la corrosion, équivalente à 300 jours en atmosphère normale; immersions de 3 à 4 heures dans des chambres alternativement froides et tièdes (ce traitement prolongé pendant 3 jours fait disparaître complètement le nickelage sur un châssis d'automobile).

L'étude de ces procédés est très difficile : il faut obtenir un faisceau de résultats permettant de dégager des directives.

L'auteur passe en revue en indiquant leurs avantages et leurs inconvénients, les quatre catégories principales de procédés anticorrosifs :

1° Protection par un métal inoxydable; 2° décapage électrolytique, acide ou, de préférence, basique à forte densité de courant. 3° Dépôt électrolytique pour lequel il est de première importance de connaître la composition du bain; autrefois on ne pratiquait que le cuivrage (ou le dégraissage cuivreux) le nickelage, l'étamage ou le zingage; actuellement on a recours au cobaltage, au cadmiage, devenu intéressant depuis le cadmium est obtenu comme sous-produit du traitement électrolytique des minerais de zinc; au chromage, étudié en Allemagne et qui, lorsqu'il est bien fait, fournit un produit plus dur que l'acier cémenté et trempé; la préparation dégage des vapeurs très corrosives; 4° oxydation anodique, employée surtout pour le traitement des alliages légers d'aluminium; il se forme une laque transparente inattaquable.

M. Reynaud-Bonin remercie M. Cournot de nous avoir fait profiter de l'expérience qu'il a acquise au Conservatoire en même temps que de ses travaux personnels.

La séance est levée à 23 heures.

Nota. — Les rapports de MM. Bouthillon, Chireix et Cournot seront publiés in-extenso dans le Bulletin de juillet.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

L'ÉTAT ACTUEL DE LA COMMANDE DES LAMINOIRS IRRÉVERSIBLES PAR MOTEURS A COURANT TRIPHASÉ (1)

par M. JUNG

Ingénieur à la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques.

Généralités. — A. Laminoirs à une seule vitesse ; 1° trains munis de volants : robustesse, capacité de surcharge, chute de vitesse, rendement, facteur de puissance ; 2 trains non munis de volants : a) *moteurs asynchrones,* b) *moteurs synchrone et asynchrone synchronisé. — B. Laminoirs à vitesse à vide variable : 1° moteurs asynchrones avec réglage par résistances ; 2° moteurs asynchrones à polarités multiples ; 3 montage en cascade de deux moteurs asynchrones ; 4° moteurs à collecteur. — Montages en cascade ; 5° cascade avec un moteur à courant continu (système Kraemer) ; 6° cascade avec un convertisseur de fréquence ; 7° cascade avec un moteur synchrone ; 8° cascade avec un moteur série à collecteur ordinaire ; 9° cascade avec un moteur à collecteur à pôles saillants. — Conclusions.*

Lorsque l'on commença, il y a une vingtaine d'années, à appliquer l'électricité à la commande des laminoirs, les moteurs installés en France furent en majeure partie des moteurs à courant continu. La prédilection marquée pour ce genre de moteur se comprend facilement, si l'on tient compte des conditions de fonctionnement des trains de laminoirs en France, appelés le plus souvent à laminer des échantillons de poids et de profils très différents nécessitant un grand nombre de vitesses de laminage. A cette époque le moteur à courant continu était le seul moteur de construction robuste permettant de régler la vitesse entre de grandes limites, de sorte que l'application du moteur à courant triphasé resta limitée aux trains tournant à vitesse sensiblement constante (trains à tôles, dégrossisseurs, à commande

(1) Communication présentée en séance publique de la Société le Mercredi 2 Mai 1928.

Digitized by Google

individuelle), bien que par ses qualités de grande simplicité et de robustesse ce moteur se désignât tout particulièrement pour le service très dur exigé par le laminage.

En Amérique, au contraire, où les grandes productions réalisées permettaient de spécialiser chaque train pour le laminage d'un nombre restreint de produits ne nécessitant qu'une seule vitesse, le moteur à courant triphasé fut, dès le début, très employé.

A mesure cependant que les grandes centrales à courant triphasé se développaient en France et que les réseaux de distribution à courant triphasé prenaient plus d'extension et d'importance, l'intérêt de la commande des laminoirs par moteurs à courant triphasé s'affirmait. La reconstitution des usines du Nord et de l'Est de la France, détruites par la guerre, accentua cette tendance et l'étude du réglage de la vitesse de ces moteurs fut activement poussée de divers côtés. Toutefois, parmi les nombreux systèmes de réglage de la vitesse des moteurs à courant triphasé qui ont été imaginés, quelques-uns seulement ont été sanctionnés par la pratique. Ils ont permis au moteur de laminoir triphasé de concurrencer avantageusement le moteur à courant continu, même pour certaines applications qui jusqu'alors lui étaient exclusivement réservées.

On se propose d'étudier dans cet exposé les types de moteurs de laminoirs à courant triphasé qui ont été définitivement retenus par la pratique parce que répondant le mieux aux conditions essentielles requises pour un moteur de laminoir, à savoir :

Robustesse et sécurité de marche;
Grande capacité de surcharge;
Bon rendement;
Facteur de puissance satisfaisant;
Facilité de réglage de la vitesse à vide et en charge;
Chute de vitesse entre la marche à vide et en charge pour la mise en action d'un volant.

On traitera séparément les différentes catégories de laminoirs continus en se basant sur la subdivision suivante :

A. — *Laminoirs à une seule vitesse.*

1° Trains munis de volants;
2° Trains non munis de volants.

Digitized by Google

B. — *Laminoirs à vitesse à vide variable.*

(Les équipements électriques des trains à vitesse variable avec ou sans volant ne différant que très peu, on traitera simultanément ces deux catégories).

En ce qui concerne l'emploi des volants, on constate actuellement une tendance très marquée à diminuer leur importance ou même à les supprimer complètement. Le volant est, en effet, très onéreux d'une part à cause de l'énergie supplémentaire nécessitée par son entraînement; d'autre part il nécessite l'adjonction, soit d'un rhéostat de glissement absorbant en pure perte un pourcentage notable de la puissance prise au réseau, soit d'un équipement de récupération d'énergie relativement coûteux.

Sa suppression conduit, il est vrai, souvent à une augmentation notable des dimensions du moteur, qui cependant est toujours largement compensée par la suppression du volant et surtout par le gain réalisé sur l'énergie.

Nous estimons qu'il y a encore des progrès très intéressants à réaliser dans ce sens pour les installations à venir. En effet, les centrales et réseaux de distribution, en raison de leur importance toujours croissante, peuvent sans inconvénient admettre des pointes de puissance de plus en plus importantes, de sorte que les volants pourraient être supprimés sur une très grande partie des trains.

Seuls les trains dégrossisseurs nécessitant des pointes de puissance très élevées devraient être munis de volants, qui seront d'ailleurs d'une importance relativement faible en raison de la durée très courte des passes de laminage sur ces trains. La plupart des finisseurs, par contre, pourraient être dépourvus de volants, d'autant plus que ceux-ci, pour être suffisamment efficaces devraient être très lourds par suite de la longueur des passes de laminage. Cette pratique a été observée jusqu'à présent en France pour les trains à fils et les trains machine. Elle pourrait cependant être généralisée dans une mesure plus importante en séparant plus souvent qu'on ne l'a fait jusqu'à présent les cages dégrossisseuses des cages finisseuses et en adoptant des commandes individuelles pour chaque groupe de cages, le dégrossisseur seul étant équipé avec un volant.

En ce qui concerne la question du rendement, nous tenons à signaler plus particulièrement que seul le rendement global de toute l'installation de laminoirs importe. Nous voudrions à ce sujet insister sur ce point trop souvent méconnu, que le rendement propre de tel

Digitized by Google

ou tel système de commande électrique est de bien peu d'importance comparé aux effets que peut avoir sur la conduite du travail et par suite sur la consommation d'énergie, le choix judicieux de ce système. Car pour améliorer le rendement global, c'est principalement sur le rendement de l'opération de laminage elle-même qu'il faut agir, et tout équipement électrique bien adapté au programme de laminage permettra de réaliser sur le travail de laminage des économies telles que, son rendement propre fut-il médiocre, cette infériorité se trouvera largement compensée.

Or, l'énergie absorbée par l'opération de laminage dépend essentiellement du refroidissement du lingot pendant le laminage, et partant de la rapidité avec laquelle l'opération de laminage est conduite. C'est ainsi, par exemple, que le travail de laminage d'un bloom se trouve doublé lorsque sa température moyenne de laminage passe de 1 200 à 1 100°C environ.

La vitesse de travail est influencée par un grand nombre de facteurs n'intéressant pas directement le moteur de laminoir : disposition des trains et des fours, agencement des services auxiliaires, habileté des manœuvres, etc... mais surtout aussi par la souplesse de marche du moteur de laminoir.

Enfin, il ne faut pas oublier que la question du rendement ne peut être séparée de celle de la sécurité de marche, et nous sommes certains de n'être contredits par aucun lamineur en affirmant que les pertes résultant d'un arrêt, même de courte durée, des laminoirs dépassent vite toutes les pertes pouvant provenir d'un rendement moins bon de l'équipement électrique.

A. — Laminoirs à une seule vitesse.

1° Trains munis de volants.

L'équipement classique à courant triphasé pour l'actionnement de ces trains est constitué par un moteur asynchrone ordinaire avec rhéostat de glissement.

Robustesse et sécurité de marche.

Toutefois en vue du service très pénible à assurer par un moteur de laminoir, des dispositions spéciales doivent être prises pour assurer une sécurité de marche parfaite.

Digitized by Google

Les paliers sont très bas, l'arbre est renforcé et l'entrefer largement prévu pour empêcher toute vibration et tout danger de frottement entre rotor et stator. L'entrefer est réglable en hauteur à l'aide de vis et d'entremises en tôle ainsi que dans le plan horizontal à l'aide de vis. Pour faciliter les réparations, le stator des moteurs d'une certaine importance est en deux pièces. Les pattes du stator peuvent être prévues démontables de façon à permettre une rotation complète du stator sur des galets disposés sous le stator et à faciliter de ce fait l'accès aux bobines de la culasse inférieure sans avoir à enlever le rotor. Dans certaines machines installées dans des halls non desservis par un pont-roulant, on prévoit le stator déplaçable parallèlement à son axe à l'aide de vérins, de façon à pouvoir dégager entièrement le rotor.

Capacité de surcharge.

Le moteur asynchrone permet de réaliser, sans artifice spécial, la capacité de surcharge de 100 pour cent normalement exigée pour les moteurs de laminoirs; elle peut facilement être poussée jusqu'à 200 pour cent.

L'absence d'un collecteur délicat rend d'ailleurs ce moteur peu sensible aux surcharges excessives qui en provoquent tout simplement le décrochage, sans causer de dommage à aucune de ses parties. Il est à remarquer toutefois que le couple de décrochage diminuant à peu près avec le carré de la tension, il est indispensable d'établir les lignes d'alimentation du moteur assez largement pour avoir approximativement la pleine tension aux bornes du moteur, même au moment des plus fortes surcharges.

Chute de vitesse.

La caractéristique de vitesses en fonction de la charge du moteur asynchrone avec rotor en court-circuit n'étant pas assez tombante pour donner une chute de vitesse suffisante, de l'ordre de 10 pour cent, pour la mise en action d'un volant, il faut insérer à cet effet, dans le circuit rotorique, une force contre-électromotrice supplémentaire augmentant avec la charge du moteur.

Trois systèmes sont employés en pratique pour la mise en action du volant :

a) la résistance fixe métallique;

b) le rhéostat hydraulique avec régulateur automatique de glissement;

Digitized by Google

c) le montage en cascade avec une machine à collecteur à caractéristique série.

La marche sur résistance fixe présente l'inconvénient d'une chute de vitesse prématurée résultant du fait que cette chute est sensiblement proportionnelle à la charge. Cependant la chute étant obtenue sans l'intermédiaire d'aucun régulateur, elle est instantanée. Cette solution est par suite avantageusement employée pour les trains à tôles fines ou moyennes présentant des à-coups particulièrement courts (une fraction de seconde) et violents. Dans certains cas on subdivise la résistance métallique en deux ou trois parties insérées successivement à l'aide de contacteurs contrôlés par des relais d'intensité, de façon à obtenir une meilleure utilisation du volant.

Les moteurs de trains à volants importants sont équipés avec des rhéostats hydrauliques munis de régulateurs automatiques de glissement. Ces appareils permettent de réaliser une courbe de vitesse idéale, c'est-à-dire qu'ils ne provoquent la chute de vitesse qu'à partir du moment où la charge atteint la valeur qu'on se propose de ne pas dépasser. Ces rhéostats sont particulièrement étudiés de façon à réduire au minimum l'inertie des organes en mouvement. Ils comprennent, d'après la disposition connue, un jeu d'électrodes fixes et un jeu d'électrodes mobiles se déplaçant dans une solution de soude et actionnées par un moteur couple alimenté par le secondaire d'un transformateur d'intensité, dont le primaire est branché aux bornes du moteur de laminoir (V. schéma fig. 1).

L'utilisation d'une machine à collecteur à caractéristique série montée en cascade avec le moteur principal permet d'obtenir la chute de vitesse sans pertes appréciables d'énergie. Ces machines sont établies d'après le même principe que les machines à collecteur servant aux réglages de la vitesse à vide des moteurs de laminoirs et seront décrites dans le chapitre B. Elles permettent d'obtenir une caractéristique de vitesse en fonction de la charge sensiblement droite, analogue à celle réalisée avec une résistance fixe. On peut, en les munissant d'un régulateur automatique, réaliser la courbe de chute de vitesse idéale : vitesse sensiblement constante jusqu'à la charge normale et chute de vitesse très prononcée dès qu'on dépasse cette valeur.

Rendement.

Le rendement du moteur asynchrone tournant à sa vitesse maxima est excellent. Toutefois pour les vitesses très faibles, le rendement di-

Digitized by Google

minue rapidement, de sorte que pour les gros trains tournant entre 40 et 100 t : mn environ on a souvent intérêt à adopter une commande par courroies ou engrenages, les pertes de la transmission étant sensiblement compensées par le meilleur rendement du moteur à grande vitesse.

Cependant, au cas où ce moteur est muni d'une résistance de glissement, il faut tenir compte dans l'établissement du rendement glo-

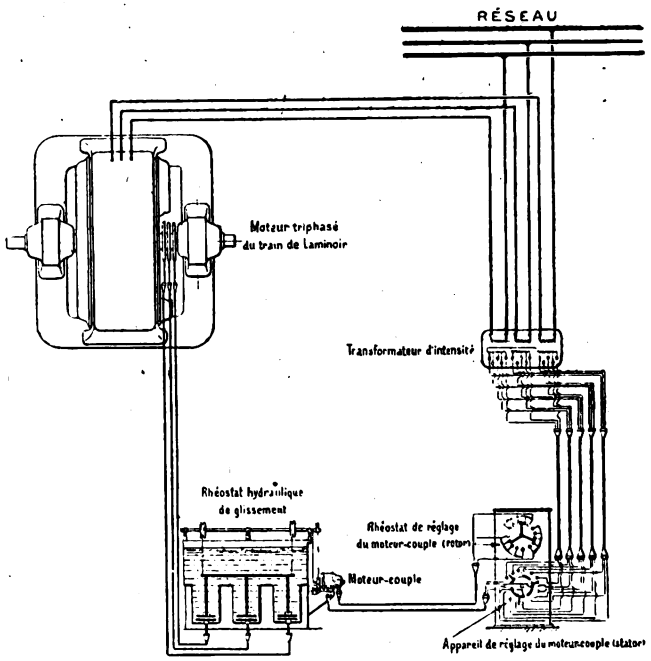


Fig. 1. — Schéma des connexions d'un moteur triphasé et de son rhéostat hydraulique avec régulateur automatique de glissement.

bal de l'installation des pertes dans le rhéostat qui atteignent pour des conditions de marche courantes — chute de vitesse maximum de 20 pour cent — environ 10 pour cent de la puissance fournie au train. On a par suite toujours intérêt à réduire le glissement autant que possible, en prévoyant les moteurs plus largement et en se contentant d'un tamponnage moins parfait dans les limites admissibles pour la centrale ou le réseau. En résumé, le rendement global d'un laminoir avec moteur asynchrone et rhéostat de glissement, ne reste bon qu'au cas où il est possible de réduire le glissement moyen à 5 ou 7 pour cent environ. Dans tous les autres cas, on a intérêt à prévoir un dispositif de récupération d'énergie : machine à collecteur en cascade.

Digitized by Google

Facteur de puissance.

Les moteurs de laminoirs marchant d'habitude à une charge moyenne inférieure à leur puissance normale et tournant souvent pendant de longues périodes presqu'à vide, les facteurs de puissance moyens des installations de laminoirs avec moteurs asynchrones et rhéostat de glissement, ne dépassent guère la valeur de 0,7 et descendent dans certains cas jusqu'à 0,4.

L'adjonction d'une machine à collecteur de récupération permet d'obtenir la compensation de phase parfaite en charge et, si on le désire, également à vide.

On peut également prévoir un simple avanceur de phase en série avec le rhéostat de glissement. Le coût de cet appareil étant pourtant, dans la plupart des cas, de même ordre que celui d'un moteur à collecteur de récupération, cette solution ne présente qu'un intérêt très restreint.

2° Trains non munis de volants.

a) Moteur asynchrone.

Le moteur le plus généralement employé pour la commande des trains à une seule vitesse non munis de volants est le moteur asynchrone ordinaire fonctionnant avec son rotor court-circuité, ce moteur présentant, comme exposé au chapitre précédent, toutes les qualités essentielles requises pour un moteur de laminoir. Lorsqu'on désire réaliser un facteur de puissance du moteur voisin de l'unité, il est facile de lui adjoindre un avanceur de phase. Au cas où l'usine possède sa propre centrale, la compensation de phase à vide ne présente qu'un intérêt restreint et il suffit en principe d'assurer la compensation en charge de façon à limiter le nombre d'unités en service à la centrale. Un compensateur série, système Leblanc, de construction excessivement simple sans enroulement statorique, peut donc parfaitement convenir. Si par contre, le moteur est branché sur un réseau de distribution prévoyant une pénalisation pour un mauvais facteur de puissance, il est nécessaire de compenser également pendant la marche à vide de façon à améliorer le facteur de puissance « moyen » qui sert généralement de base à la tarification. On adoptera dans ce cas un compensateur à tension indépendante de la charge, du type convertisseur de fréquence par exemple, permettant de compenser à toutes les charges.

Digitized by Google

b) *Moteurs synchrone et asynchrone synchronisé.*

Ces deux types de moteurs ont été peu employés en France pour la commande des laminoirs jusqu'à ce jour.

En effet, le moteur asynchrone ayant depuis de longues années fait ses preuves pour la commande des laminoirs, convenait parfaitement grâce à ses qualités de grande robustesse et de bon rendement, tant que la question de l'amélioration du facteur de puissance des installations de laminoirs n'avait pas été soulevée. Lorsque par contre, on désire non seulement obtenir un bon facteur de puissance du moteur de laminoir lui-même, mais également améliorer à l'aide de ce moteur le facteur de puissance du reste de l'installation : moteurs des services auxiliaires, etc..., il est avantageux d'avoir recours au moteur synchrone ou asynchrone synchronisé, le moteur asynchrone avec compensateur ne permettant pas de fournir une puissance réactive importante de compensation.

Le fonctionnement avec une puissance réactive de compensation relativement importante est d'autre part particulièrement avantageux pour ces moteurs, parce qu'il permet précisément d'obtenir le couple de décrochage très élevé nécessaire pour un service de laminage sans volant, et qui est difficilement réalisable avec des moteurs synchrones ou asynchrones synchronisés non surcompensés.

Pendant ces dernières années quelques installations importantes de moteurs synchrones ont été réalisées, surtout en Amérique.

En France le moteur asynchrone synchronisé a été appliqué avec plein succès à la commande des laminoirs. Il présente par rapport au moteur synchrone l'avantage d'un couple de démarrage très élevé égal à celui du moteur asynchrone, ainsi que d'une plus grande stabilité de marche, grâce à sa faculté de pouvoir continuer son service en régime asynchrone lorsqu'il a décroché par suite d'un à-coup trop brutal, et de se raccrocher automatiquement dès que la surcharge a disparu.

Les deux types de moteurs, synchrone et asynchrone synchronisé, présentent par rapport au moteur asynchrone l'inconvénient de nécessiter une excitatrice. Ils permettent cependant de prévoir facilement des entrefers plus grands.

B. — Laminoirs à vitesse à vide variable.

On examinera successivement les différents procédés du réglage de la vitesse d'un moteur à courant triphasé ayant eu la consécration de

Digitized by Google

la pratique. On étudiera les avantages et inconvénients respectifs des différents systèmes employés et on signalera plus particulièrement ceux qui ont permis de réaliser la solution la plus parfaite du problème du réglage de la vitesse.

1° Moteur asynchrone avec réglage par résistances.

Le moyen le plus connu pour régler la vitesse d'un moteur asynchrone, consiste à insérer des résistances dans son rotor. Ce procédé, comme on le sait, présente cependant deux grands inconvénients :

a) Perte d'énergie considérable dans le rhéostat, la puissance dissipée dans le rhéostat étant sensiblement égale au produit du glissement par la puissance absorbée.

b) Impossibilité de régler la vitesse à vide et de maintenir la vitesse à une valeur constante en-dessous du synchronisme indépendamment de la charge.

Il en résulte, pour les laminoirs dont la puissance varie fortement au cours d'une opération, l'impossibilité de maintenir la vitesse constante lorsqu'on marche sur résistance fixe, et pour tous les laminoirs l'impossibilité d'empêcher le train de reprendre sa vitesse maxima pendant la marche à vide.

On a toutefois imaginé pour régler la vitesse des moteurs de laminoirs ordinaires, soumis à des variations de charge très appréciables et brutales, des régulateurs combinés vitesse-intensité permettant de maintenir la vitesse constante tant que la charge reste en-dessous de la valeur qu'on s'est proposé de ne pas dépasser, et de provoquer au-dessus de cette charge la chute de vitesse nécessaire pour la mise en action du volant dont ces moteurs sont généralement munis. Ces régulateurs agissent sur les rhéostats de glissement. Ces rhéostats présentant pour des moteurs d'une certaine importance, une inertie trop grande, le fonctionnement de ces régulateurs est loin d'être satisfaisant.

Il est néanmoins possible de réaliser avec des trains dont la puissance ne varie pas entre de très grandes limites — trains machines, trains à fil, petits mills avec un grand nombre de cages — une marche acceptable avec un réglage maximum de 20 pour cent environ, le réglage étant encore facilité dans ce cas par le fait que les pertes à vide de ces trains sont d'habitude assez appréciables — 1/4 à 1/3 de la puissance nominale du moteur — de sorte que pour la marche à vide du train, le glissement est déjà de 5 à 7 pour cent. Dans ce cas la mar-

Digitized by Google

che peut encore être stabilisée en adjoignant au moteur un volant lourd, dont le rôle n'est pas dans ce cas, de tamponner les pointes de puissance, mais de régulariser la vitesse. Cette solution est évidemment doublement onéreuse, en raison des pertes supplémentaires résultant du volant d'une part, et des pertes dans le rhéostat d'autre part, et elle n'est plus employée actuellement.

On arrive donc à cette conclusion que, sauf quelques cas exceptionnels — faible réglage et charge peu variable — le moteur asynchrone ordinaire est peu apte à fournir un service satisfaisant à une vitesse différente de sa vitesse maxima et que dans les cas exceptionnels où un certain réglage est réalisable, le fonctionnement devient très onéreux.

2° Moteurs asynchrones a polarités multiples.

Le moteur asynchrone à polarités multiples constitue une solution plus satisfaisante, bien qu'imparfaite encore, du problème de réglage de la vitesse. Il peut convenir au cas où l'on peut se contenter de 2 à 3 vitesses différentes. Il y a, en effet, lieu de se limiter à ce nombre de vitesses pour éviter de trop grandes complications dans la construction du moteur et de l'appareillage qui seraient préjudiciables à la sécurité de marche, surtout dans le cas de moteurs à haute tension. Ce moteur a un bon rendement et un facteur de puissance peu inférieur à celui d'un moteur asynchrone simple. Il nécessite cependant l'emploi d'un rhéostat de glissement au cas où le train est muni d'un volant. Nous donnons ci-dessous les caractéristiques d'un moteur à double polarité actionnant un train à fils construit par la Société Alsacienne :

Tension	200 volts
Fréquence	50 périodes par seconde
Puissance	(1 500 ch à 500 t : mn
	(1 125 ch à 375 t : mn

	Rendement	Cos φ
	—	—
pour 1 500 ch à 500 t : mn	94 pour cent	0,88
pour 1 125 ch à 375 t : mn	93,5 pour cent	0,85

3° Montage en cascade de deux moteurs asynchrones.

La cascade de deux moteurs asynchrones est une solution plus robuste du même problème, quelle que soit la tension d'alimentation.

Digitized by Google

Elle ne comporte que des moteurs de construction normale accouplés entre eux. Elle permet d'obtenir deux vitesses à vide, l'une avec moteur principal seul, l'autre avec les deux moteurs en cascade. En doublant la polarité du deuxième moteur, on obtient trois vitesses différentes. Il n'est pas à conseiller de doubler également la polarité du moteur principal, pour conserver à ce moteur toute sa simplicité et sa robustesse, ce moteur devant en cas d'avarie du deuxième moteur être capable de continuer le service à la grande vitesse.

Le rendement pendant la marche en cascade est très acceptable, le facteur de puissance par contre est médiocre. Nous donnons ci-dessous les caractéristiques d'un groupe en cascade actionnant des trains à rails, construits par la Société Alsacienne :

Tension	5 500 volts
Fréquence	50 périodes par seconde
Puissance	3 000 ch
Vitesses à vide	375 et 300 t : mn

	Rendement	Cos φ
	—	—
pour 3 000 ch à 375 t : mn	95,5 pour cent	0,85
pour 3 000 ch à 300 t : mn	92,5 pour cent	0,76.

4° Moteur a collecteur.

On a, dans quelques cas très rares, utilisé directement pour la commande des laminoirs le moteur série à collecteur, ce moteur permettant de réaliser, comme on le sait, un réglage économique de la vitesse entre d'assez grandes limites. Ce moteur ne peut cependant être construit que pour des puissances relativement faibles (500 à 600 ch au maximum) et dans certaines conditions de vitesse seulement. D'autre part, malgré les progrès réalisés pendant ces dernières années, la construction du moteur à collecteur reste toujours trop délicate pour un service de laminoirs, de sorte que cette solution a été abandonnée, surtout depuis l'emploi des montages en cascade, spécifiés ci-après, qui présentent une sécurité de marche infiniment plus grande.

Montages en cascade.

Avantages. — Les quatre systèmes du réglage de la vitesse décrits ci-dessus sont à peu près abandonnés actuellement, soit à cause de leur

Digitized by Google

mauvais rendement (réglage par résistance), soit à cause du manque de souplesse (moteur à polarités multiples et cascade de deux moteurs d'induction), soit à cause du fonctionnement trop délicat (moteur à collecteur). Ils ont été remplacés par les différents montages en cascade qui seront décrits ci-après, tous ces montages étant caractérisés par les avantages suivants qui leur ont permis de supplanter les anciens systèmes pour les services de laminages :

a) *Grande sécurité de marche.* — Tous ces systèmes sont basés sur le principe qu'en cas d'avarie aux machines ou appareils de réglage de la vitesse, il doit être possible de continuer de fonctionner avec le moteur principal seul, en assurant ainsi un service de secours plus ou moins satisfaisant suivant le système adopté. Le moteur principal étant un moteur d'induction de construction courante présente des qualités de robustesse de tout premier ordre.

b) *Souplesse de marche.* — Tous ces systèmes permettent d'obtenir un réglage de la vitesse à vide et en charge très progressif entre les limites extrêmes.

c) *Bon rendement.* — Les pertes supplémentaires résultant de l'emploi des machines auxiliaires ne sont, pour les conditions de fonctionnement courantes, qu'une fraction des pertes du moteur principal. La chute de vitesse pour la mise en action d'un volant éventuel se fait sans perte.

d) *Bon facteur de puissance.* — Tous ces systèmes permettent de fonctionner, au moins en charge, avec un facteur de puissance voisin de l'unité.

e) *Réglage hyper et hyposynchrone.* — La plupart de ces systèmes permettent de réaliser un réglage de la vitesse du moteur principal de part et d'autre de sa vitesse synchrone, ce réglage présentant par rapport à un réglage uniquement hyposynchrone les avantages suivants très particulièrement appréciables :

— Machines auxiliaires de dimensions plus réduites et d'un fonctionnement plus sûr.

— Rendement meilleur.

— La marche de secours du moteur principal en cas d'avarie à l'équipement de réglage se fera à une vitesse moyenne comprise entre les limites extrêmes et permettant de laminer la plupart des échantillons.

On exposera ci-après les montages en cascade les plus généralement

Digitized by Google

employés et on établira une comparaison entre leurs avantages et inconvénients respectifs.

5° Cascade avec un moteur a courant continu (système Kraemer).

Tel qu'il est réalisé normalement, ce système comporte (voir schéma figure 2) un moteur auxiliaire à courant continu calé sur

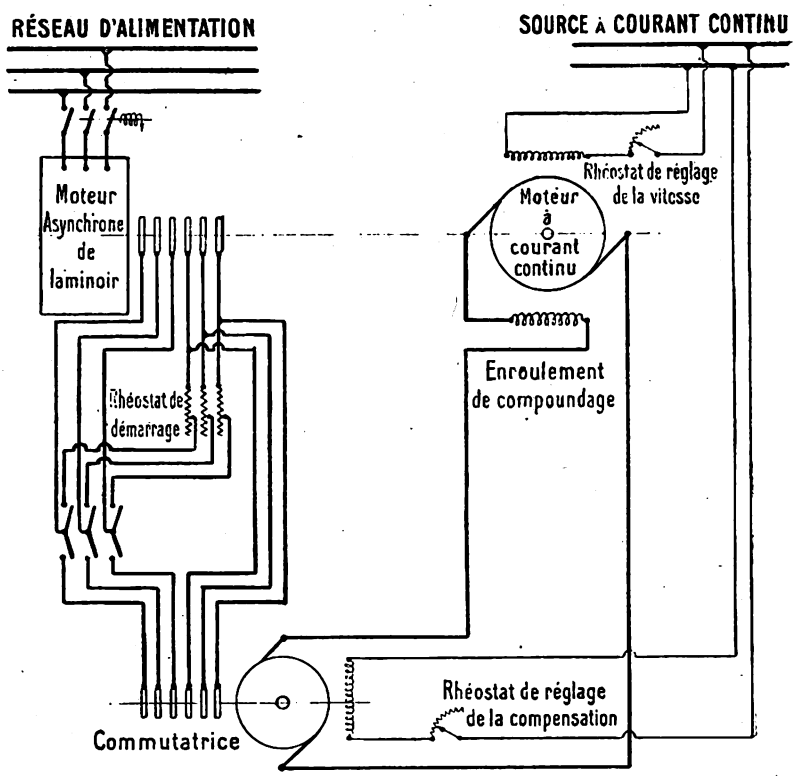


Fig. 2. — Schéma de la cascade d'un moteur asynchrone à courant triphasé avec un moteur à courant continu (machines accouplées).

l'arbre du moteur asynchrone et alimenté par le rotor de ce moteur à travers une commutatrice tournant séparément.

Le réglage de la vitesse du moteur principal s'obtient à l'aide du rhéostat de champ du moteur à courant continu; le facteur de puissance peut être réglé par le rhéostat de champ de la commutatrice; la chute de vitesse est obtenue à l'aide d'un enroulement de compoundage sur le moteur à courant continu ou par tout autre système de compoundage applicable aux moteurs à courant continu. L'éner-

Digitized by Google

gie correspondant au glissement du moteur principal est transformée, par la commutatrice, en courant continu pour l'alimentation du moteur auxiliaire, qui la restitue sous forme mécanique à l'arbre du laminoir. Le moteur principal étant accouplé avec le moteur à courant continu, ce système fonctionne à puissance constante. Dans certains cas où il est impossible d'accoupler les deux machines (emplacement insuffisant, vitesse trop lente du moteur principal conduisant à une construction peu économique du moteur à courant continu), on peut accoupler le moteur à courant continu avec une génératrice synchrone ou asynchrone débitant sur le réseau et réaliser ainsi un réglage à couple constant.

Avantages :

a) Les machines auxiliaires — moteur à courant continu et commutatrice — sont des machines de construction très robuste, connues depuis longtemps et qui ont fait leurs preuves. C'est ce qui explique l'application de ce système à une époque où le moteur à collecteur triphasé n'était pas encore suffisamment au point.

b) Appareils de réglage très simples : rhéostats de champ.

Inconvénients :

a) Le groupe ne peut fonctionner qu'aux vitesses correspondant à un glissement du moteur principal supérieur à 10 pour cent environ, car pour des glissements et par suite des fréquences rotoriques plus faibles, le couple synchronisant de la commutatrice devient trop faible et elle décroche au moment des surcharges.

Il résulte de ce fait que si le groupe est établi pour un réglage de vitesse purement sous-synchrone, le moteur principal tournera, en cas d'avarie à l'une des machines à courant continu, à une vitesse plus élevée que la plus grande vitesse admissible pour le laminage.

b) Il n'est pas possible, pour la même raison, de passer la vitesse de synchronisme lorsque le moteur principal est en charge, de sorte qu'on ne peut utiliser pour le laminage les vitesses situées entre 10 pour cent au-dessus et 10 pour cent en-dessous du synchronisme.

c) Nécessité d'installer un convertisseur d'excitation pour le moteur à courant continu et la commutatrice.

d) Amélioration incomplète du facteur de puissance (0,9 env.). La

Digitized by Google

compensation complète nécessiterait une très forte surexcitation de la commutatrice, provoquant un fonctionnement défectueux de celle-ci.

e) Le nombre minimum de machines auxiliaires (groupe d'excitation non compris) est de deux. Lorsqu'on est obligé de recourir à

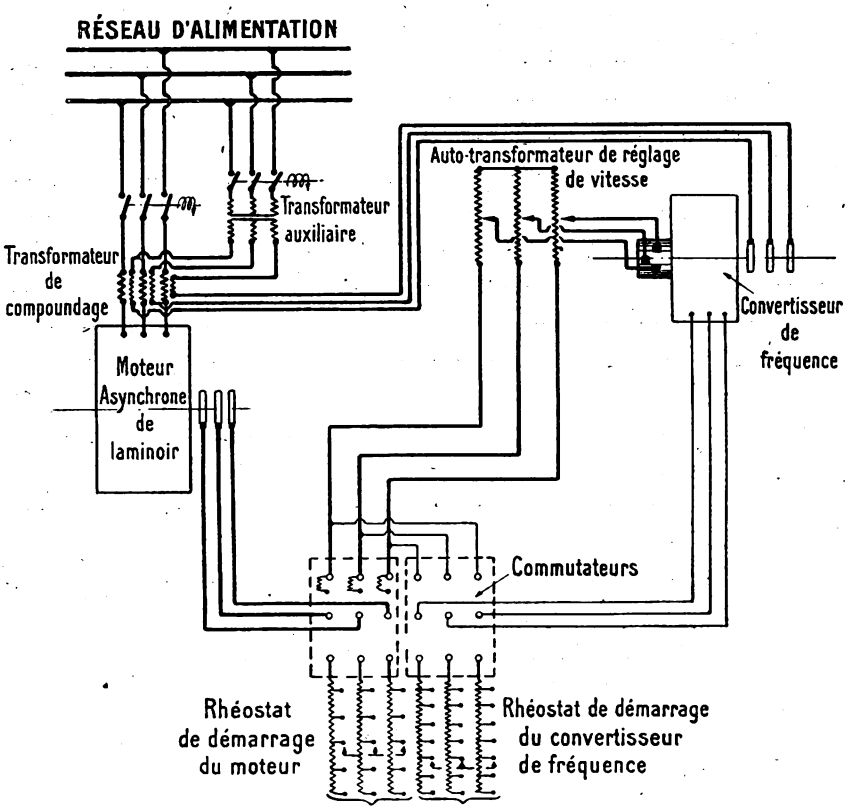


Fig. 3. — Schéma de la cascade d'un moteur asynchrone à courant triphasé avec un convertisseur de fréquence.

l'accouplement du moteur auxiliaire avec une génératrice auxiliaire, ce nombre est porté à trois (groupe d'excitation non compris).

6° Cascade avec un convertisseur de fréquence.

Ce système comporte (voir schéma figure 3) un convertisseur de fréquence, dont le collecteur est alimenté par le rotor du moteur principal, et dont les bagues sont reliées au réseau par l'intermédiaire d'un transformateur auxiliaire. Le convertisseur de fréquence peut être accouplé avec le moteur asynchrone ou tourner indépendam-

Digitized by Google

ment, à l'aide d'un enroulement triphasé prévu à cet effet sur son stator; il peut également être entraîné par un petit moteur asynchrone dont le rotor est connecté à celui du moteur principal pour assurer des glissements égaux à ces machines. Le réglage de la vitesse est réalisé, soit à l'aïde d'un transformateur de réglage monté entre le convertisseur de fréquence et le rotor du moteur principal, soit à l'aide d'un transformateur de réglage (ou régulateur d'induction) monté entre les bagues du convertisseur de fréquence et le réseau, soit à l'aide d'un groupe d'excitation synchrone.

Le facteur de puissance peut être réglé par décalage des balais du convertisseur de fréquence ou de la phase de la tension appliquée à ses bagues, par exemple à l'aide d'un groupe d'excitation synchrone à tension réglable en grandeur et en phase. Il est possible d'obtenir un effet de compoundage en combinant avec le transformateur côté bagues, le secondaire d'un deuxième transformateur, dont le primaire est parcouru par le courant d'alimentation du moteur principal.

Avantages :

a) Le convertisseur de fréquence peut être installé indépendamment du moteur principal.

b) Il peut être prévu pour permettre un réglage hyper et hyposynchrone du moteur principal.

c) L'ensemble fonctionne avec un bon facteur de puissance.

Inconvénients :

La puissance du convertisseur de fréquence est limitée par ses conditions de commutation défavorables, de sorte que l'application de ce système reste limitée au réglage de vitesse des moteurs de faible puissance.

7° Cascade avec un moteur synchrone.

Dans ce système la puissance de glissement du moteur asynchrone est transmise à un moteur synchrone, calé sur l'arbre du moteur principal, par les bagues d'un convertisseur de fréquence, dont le collecteur est relié au rotor du moteur asynchrone (voir schéma figure 4). Le convertisseur de fréquence est entraîné à vitesse constante par un petit moteur synchrone.

Le réglage de vitesse s'obtient à l'aide du rhéostat de champ du

Digitized by Google

moteur synchrone, le réglage du facteur de puissance par le calage des balais du convertisseur de fréquence, ou par le rhéostat de champ du petit moteur synchrone d'entraînement du convertisseur de fréquence. On peut obtenir le compoundage, pour la mise en action d'un volant, à l'aide d'un régulateur automatique contrôlant l'excitation du moteur synchrone en fonction de la puissance absorbée par le moteur principal.

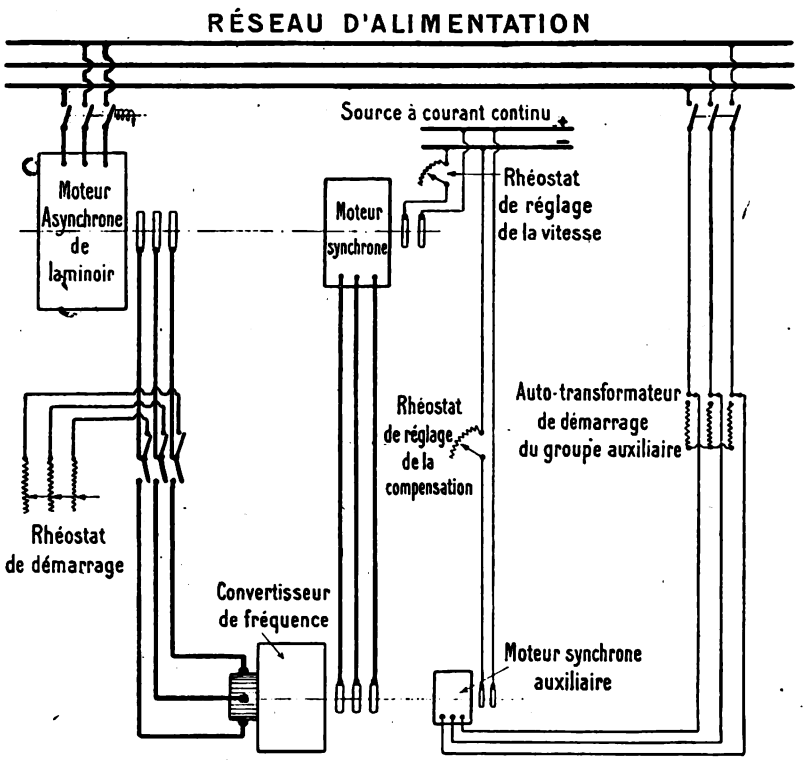


Fig. 4. — Schéma de la cascade d'un moteur asynchrone à courant triphasé avec un moteur synchrone.

Avantages :

a) Possibilité de réglage hyper et hyposynchrone.
b) Bon facteur de puissance.
c) Appareils de réglage très simples : rhéostats de champ.

Inconvénients :

a) Comme pour le système de réglage précédent, ce procédé est limité par la puissance du convertisseur de fréquence, ce dernier devant être prévu pour la puissance totale du glissement.

Digitized by Google

b) On a besoin d'une source d'excitation (convertisseur auxiliaire) pour l'excitation des deux moteurs synchrones.

c) Les machines principales de réglage (groupe d'excitation et moteur d'entraînement du convertisseur de fréquence non compris) sont au nombre de deux.

d) Le moteur synchrone doit être entraîné par le moteur principal, ce qui peut être gênant dans certains cas.

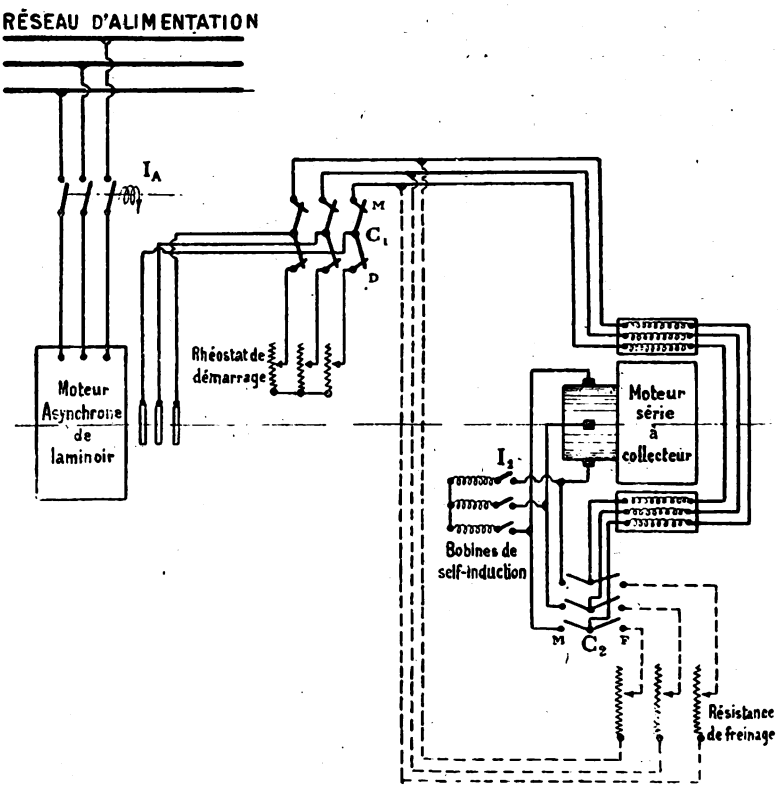


Fig. 5. — Cascade d'un moteur asynchrone à courant triphasé accouplé avec un moteur série à collecteur (schéma de principe).

8° Cascade avec un moteur série a collecteur ordinaire.

Dans ce cas (voir schéma figure 5) le rotor du moteur asynchrone est directement relié au moteur à collecteur sans interposition d'appareils ou de machines auxiliaires. Le moteur à collecteur est de construction courante et peut être, soit calé sur l'arbre du moteur principal, soit accouplé avec une génératrice synchrone ou asynchrone reliée au réseau. Le réglage de la vitesse peut être effectué par les différents moyens connus de réglage de la vitesse des moteurs série

Digitized by Google

à collecteur : soit par décalage des balais, soit par déphasage relatif des courants traversant le stator et le rotor, par exemple en shuntant le collecteur par des bobines de self-induction. Ce dernier moyen qui nécessite une marche toujours hypersynchrone de la machine à collecteur est très efficace, même pour le réglage de la vitesse à vide. Le réglage du facteur de puissance peut être obtenu par modification du rapport de transformation de la machine, soit en plaçant un transfor-

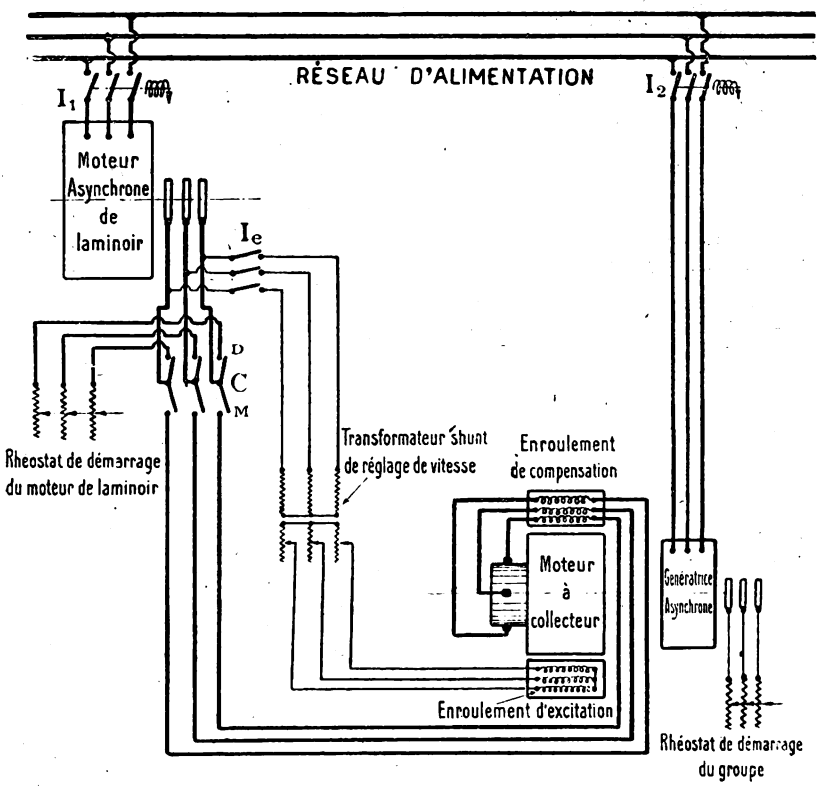


Fig. 6 — Cascade d'un moteur asynchrone à courant triphasé avec un moteur à collecteur à pôles saillants accouplé à une génératrice asynchrone (groupe de réglage séparé).

mateur sur le stator, soit en employant un double jeu de balais décalables permettant d'utiliser un nombre plus ou moins grand de conducteurs du rotor.

Avantages :

a) Machine à collecteur de construction courante.

b) Nombre limite de machines de réglage : une en cas d'attaque directe, deux avec moteur à collecteur indépendant. Aucun groupe auxiliaire.

Digitized by Google

c) Bon facteur de puissance, au moins à partir de la demi-charge.

Inconvénients :

a) Il n'est pas possible, jusqu'à présent, de passer en service à une vitesse hypersynchrone du moteur principal.

b) La puissance et l'étendue du réglage de vitesse ainsi que la vitesse du moteur à collecteur sont limitées par la commutation.

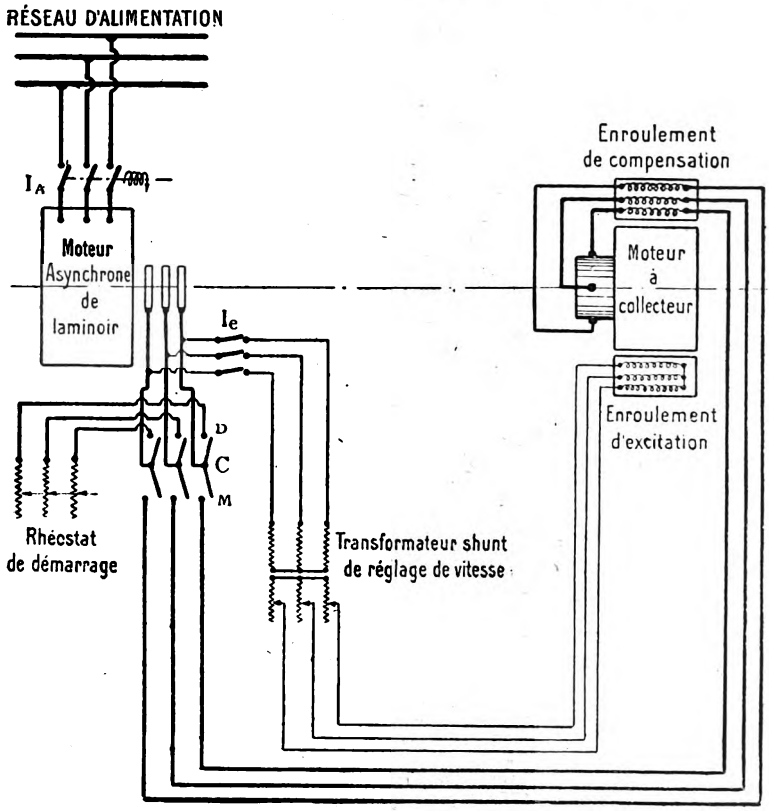


Fig. 7. — Cascade d'un moteur asynchrone à courant triphasé et d'un moteur à collecteur à pôles saillants (machines accouplées).

9° Cascade avec un moteur a collecteur a poles saillants.

Comme pour la cascade avec moteur à collecteur ordinaire, le moteur auxiliaire, alimenté directement par le rotor du moteur principal, peut être accouplé, soit directement au moteur principal (voir schéma figure 6), soit à une machine synchrone ou asynchrone débitant sur le réseau (voir schéma figure 7). Le moteur à collecteur est muni de pôles de commutation et d'un enroulement de compensation permettant d'augmenter facilement sa puissance et d'en améliorer le

Digitized by Google

fonctionnement. Le réglage de la vitesse et du facteur de puissance s'obtient en faisant varier le courant d'excitation du stator, soit à l'aide d'un transformateur, soit à l'aide d'une excitatrice spéciale du moteur à collecteur, soit par tout autre moyen propre à agir sur la valeur du courant d'excitation. Son compoundage s'obtient à l'aide d'une excitation série appropriée.

Avantages :

a) Nombre limité des machines auxiliaires, une ou deux, comme pour la cascade avec moteur à collecteur série (excitatrice éventuelle non comprise).

b) Possibilité de marche hyper et hypersychrone du moteur principal.

c) Le moteur à collecteur peut être conçu avec un fonctionnement parfait pour toutes les puissances et vitesses rencontrés dans la construction des moteurs de laminoirs.

d) Bon facteur de puissance à toutes les charges.

Inconvénients :

Pour les faibles puissances et des réglages peu étendus, le coût de l'installation du moteur à pôles saillants est relativement élevé.

Conclusion

Ainsi qu'il ressort de la comparaison ci-dessus, parmi les différents moyens de réglage de la vitesse d'un moteur asynchrone, deux systèmes sont particulièrement intéressants pour l'adaptation aux moteurs de laminoirs d'une certaine importance, à savoir : la cascade avec moteur à collecteur série ordinaire et la cascade avec moteur à collecteur à pôles saillants. Ces deux systèmes sont remarquables par leur grande simplicité qui leur assure un maximum de robustesse, le nombre de machines auxiliaires étant réduit au minimum. Le premier peut être réalisé à l'aide de machines de construction très simple et partant peu onéreuses, le deuxième est le seul capable de s'adapter parfaitement à tous les besoins d'un service de laminage. Ces deux systèmes ont été adoptés entre autres par la Société Alsacienne qui les a développés pour la commande des laminoirs, le premier étant réservé aux puissances moyennes et aux faibles réglages de vitesse, le deuxième étant employé dans tous les cas où le premier ne peut plus convenir ou ne donne plus une sécurité de marche suffisante.

Digitized by Google

MULTICOMMUNICATION GÉNÉRALISÉE PAR TRÈS COURTES ONDES ÉLECTRIQUES [1]

PRINCIPES ET APPLICATIONS
PREMIÈRES RÉALISATIONS, PROGRÈS OBTENUS, ÉTAT ACTUEL DU PROBLÈME

par A. TURPAIN,

Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Un système de transmission *multiplex* est un système qui permet de transmettre simultanément plusieurs télégrammes dans un même sens; de A vers B par exemple, par un fil unique.

On peut se proposer également, en utilisant toujours un fil unique AB, la transmission simultanée de plusieurs télégrammes de A vers B en même temps que celle d'un même nombre de télégrammes émis de B vers A; on réalise alors ce que nous nommerons un dispositif *multicommunicateur*.

Le problème de la multicommunication télégraphique peut être rendu encore plus général. L'énoncé le plus complet qu'on en peut donner est le suivant :

Un fil conducteur unique relie deux lieux déterminés A et N et passe par une série d'autres lieux B, C, D... L. Trouver un dispositif qui permette l'échange de communications télégraphiques simultanées (communications pouvant être assurées au moyen d'appareils télégraphiques divers, Morse, Hughes, voir même téléphone...) entre A et B, A et C,... A et N et aussi entre B et C, B et D,... B et N, et ainsi de suite jusqu'à la communication entre L et N; en un mot entre tous les groupes que l'on peut former en combinant deux à deux de toutes les manières possibles les postes que relie le fil unique.

Si ce problème envisagé d'une manière aussi générale, n'a pas été résolu d'une façon complète, des cas particuliers en ont été étudiés et leur mise en pratique a été suivie de succès.

---

(1) Les formalités d'obtention de brevets étrangers ont retardé la publication de cette étude, qui avait été présentée en séance mensuelle de la *Société française des Electriciens*, le 7 mars 1925.

Digitized by Google

Deux sortes de solutions ont été proposées. L'une d'elles, qui ne réalise pas à proprement parler des transmissions simultanées, a reçu le nom de *télégraphie multiple*. L'autre solution est connue sous le nom de télégraphie multiplex.

Télégraphie multiple. — Dans les divers télégraphes multiples, soit à signaux conventionnels (Meyers, Delany), soit imprimeurs (Baudot, Munier, Dom), on utilise l'intervalle de temps qui sépare l'envoi de deux signaux consécutifs par un même appareil pour mettre la ligne en communication avec toute une série d'autres appareils.

A cet effet, la ligne AN relie les axes de deux balais conducteurs qui tournent d'un mouvement synchrone et rencontrent une série de secteurs conducteurs, régulièrement distribués le long de la circonférence que les balais décrivent.

Ces deux organes, qui mettent ainsi en communications au même instant un manipulateur d'une station avec un récepteur de l'autre, qui par suite distribuent successivement la ligne aux divers appareils télégraphiques accouplés, ont reçu le nom de *distributeurs*.

Si les signaux qui émanent de chaque manipulateur sont émis au moment propice, on conçoit que, grâce au synchronisme des distributeurs, les groupes d'appareils associés puissent échanger les signaux.

Bien que plusieurs télégrammes puissent ainsi être simultanément échangés entre A et N, il n'y a pas, à vrai dire, communications simultanées entre les divers appareils qui les échangent. Les deux distributeurs ont simplement permis d'établir des communications successives entre les divers manipulateurs et récepteurs reliés par une même ligne.

La construction des appareils télégraphiques actuels a atteint une perfection telle qu'il paraît difficile de les surpasser tant qu'on s'adresse, comme dans le télégraphe Baudot, à des moyens mécaniques, et que l'on cherche à rapprocher les communications successives entre les divers récepteurs et manipulateurs reliés par une même ligne.

Il semble que la solution du problème ne puisse progresser qu'au moyen de principes *physiques* permettant une communication vraiment simultanée entre les différents postes.

Télégraphie multiplex. — La télégraphie multiplex, qui permet la communication, réellement simultanée de plusieurs appareils par un

Digitized by Google

même fil, repose sur une remarquable expérience signalée à l'Académie des Sciences en 1860 par l'abbé Laborde (1). Cette expérience consiste à envoyer sur un même fil une série de courants intermittents de régimes différents qui sont émis par l'intermédiaire de diapasons de tonalités différentes. A l'arrivée, ces courants parcourent les enroulements d'un nombre d'électro-aimants égal au nombre des diapasons, et chaque électro-aimant agit sur une lame vibrante. Chacune des lames se trouve d'ailleurs accordée avec l'un des diapasons. Dans ces conditions on constate que les courants intermittents, envoyés par un des diapasons, n'agit que sur la lame en accord avec ce diapason. Cette lame entre *seule* en vibration, *à l'exclusion* de toutes les autres.

C'est sur ce principe que Paul Lacour, de Copenhague, réalisa plus tard, en 1873, un télégraphe multiplex. Les différents courants intermittents produits par des diapasons à la station de départ cheminaient ensemble et venaient impressionner à la station d'arrivée, au moyen d'électro-aimants, une série de diapasons qui étaient des copies exactes de ceux disposés au départ. Le triage des transmissions se trouvait ainsi assuré; les diapasons communiquant entre eux par couple et indépendamment les uns des autres.

Parmi les dispositifs multiplex de Paul Lacour, nous rappellerons les transmetteurs disposés de façon que les courants vibratoires envoyés sur la ligne soient des courants induits.

Le télégraphe multiple d'Elisha Gray est encore une application de l'expérience de 1860 de l'abbé Laborde. Les différents transmetteurs et récepteurs accordés sont alors des lames vibrantes.

Mercadier reprit en 1889 le même principe : Au lieu de lames vibrantes, il utilise des plaques vibrantes. A l'aide d'un multiplex à courants vibrés et de relais monotéléphoniques, Mercadier et M. Magunna purent faire fonctionner simultanément, vers 1907, cinq appareils Hugues, entre Paris et le Havre, puis, en 1908, échanger entre Paris et Marseille des dépêches entre six appareils Hugues animés par six électrodiapasons, en même temps que le courant continu d'une pile permettait la relation, par le même fil, de deux appareils Baudot.

C'est toujours le principe de télégraphie harmonique posé en 1860 par l'abbé Laborde, que reprit Maurice Leblanc en 1886,

(1) Abbé Laborde — Vibrations transmises et reproduites à distance par l'électricité, *C. R. Ac. Sc.*, 2 avril 1860, t. L, p. 692.

Digitized by Google

il proposa d'appliquer l'électro-diapason à la réalisation d'un multiplex téléphonique. En même temps ce dernier auteur suggéra une ingénieuse combinaison des *systèmes multiples* genre BAUDOT, et des *systèmes multiplex* à électro-diapasons, pour entretenir un multiplex téléphonique. On conçoit aisément que si, — mettant en œuvre deux distributeurs genre BAUDOT, accrochés et maintenus au synchronisme, — on substitue à chaque télégraphe imprimeur qui leur sont liés, autant de postes téléphoniques, on puisse espérer — pour peu que les distributeurs soient assez rapides, et que les conversations échangées soient *assez lentes et cadencées* (la condition est essentielle), — on puisse espérer échanger plusieurs communications téléphoniques par le même fil, lequel fil se trouverait accordé aux couples successifs de conversations, à la manière dont le distributeur Baudot accorde le fil de ligne aux télégraphes imprimeurs accouplés qu'il dessert. Il y aura cependant à prévenir deux inconvénients : 1° en pratique, les conversations téléphoniques se prêteront fort mal à l'émission des paroles sous une forme rigoureusement et lentement cadencée; et 2° s'y astreindraient-elles, que la suppression et le rétablissement de la ligne, à chaque tour du distributeur créerait dans les téléphones récepteurs un bruit strident de friture insupportable et troublant. Avec le parfait sens pratique qui l'a si grandement distingué comme admirable inventeur, Maurice LEBLANC combina ingénieusement multiple et multiplex.

Chaque téléphone, récepteur et transmetteur, est relié à un transformateur dont le secondaire est formé de deux enroulements, en sens contraire et parfaitement équilibrés. Ces enroulements, disposés en cercle, ont leurs champs renforcés et se trouvent dès lors déséquilibrés par le passage d'une pièce de fer doux, qui joue ainsi le rôle de distributeur, sans provoquer la rupture de la ligne. On peut caractériser cette combinaison de Maurice Leblanc, comme un système téléphonique harmonique à *distributeur de champ*. Les courants vibrés ne s'échangeant entre les appareils associés qu'autant que transmetteur et récepteur se trouvent simultanément sous l'influence du fer tournant.

Alors que les monotéléphones Mercadier ont donné lieu aux transmissions à longue distance dont nous relations ci-dessus quelques-unes, nous ne croyons pas que le dispositif de téléphonie harmonique conçu par Maurice Leblanc ait donné lieu à des essais d'exploitation.

Digitized by Google

Dans tous les dispositifs précédents que nous avons cru devoir rapidement passer en revue, ce sont, en somme *toujours des courants vibrés*, les courants produits par des électro-diapasons ou par des dispositifs analogues, qui assurent l'intercommunication.

Pour que le dispositif soit en œuvre, il est essentiel et obligé qu'un *circuit continu et non interrompu* relie les dispositifs transmetteurs et les dispositifs récepteurs.

Une autre solution, entièrement différente de celles qui viennent d'être rappelées, peut être donnée au problème général de la multicommunication tant télégraphique que téléphonique. C'est celle qu'apporte la réalisation pratique des oscillations électriques, la découverte des ondes hertziennes, découverte qui ne remonte qu'à la fin de 1888.

On ne saurait trop insister sur la différence essentielle que présente ce nouveau mode de télécommunication avec ceux utilisant les courants continus ou les courants rythmés ou vibrés.

Evidemment, tout est dans tout. Et l'énergie électrique qui rayonne des antennes de nos postes de T. S. F. est la même énergie électrique qui émane de l'électrophore et provient de la peau de chat frappée. Mais qui oserait sérieusement soutenir que la découverte de la pile, celle de l'induction, puis enfin plus récemment celle des ondes hertziennes, ne marquent pas des progrès successifs énormes, de même importance relative l'une sur l'autre que celle que présente l'électricité de contact découverte par Volta, sur l'électricité de condensation que présentait le condensateur de von Kleist et de Musschenboeck.

Dans une récente étude publiée dans la *Revue Générale de l'Electricité* (22 novembre 1924, p. 819), j'indiquais comment non seulement l'habile expérimentateur qu'était Colladon, mais des génies tels qu'Ampère et que Fresnel passèrent tout à côté de la *découverte expérimentale* de l'induction électrique sans la faire. En particulier les très nombreuses expériences, répétées à trois reprises et avec des moyens amplifiés, par Fresnel (1), sur l'*action galvanique des aimants*, expériences communiquées même à l'Institut par ce grand savant montrent toute l'énorme marge qui sépare la conception mal définie, — en l'espèce la relation soupçonnée entre l'aimant et le courant, —

(1) FRESNEL. — Note sur des essais ayant pour but de décomposer l'eau avec un aimant. *Annales de Phys. et Chimie*, 1820, 2e série, t XV, p. 219 et Procès-Verbaux des Séances de l'Académie des Sciences, 6 novembre 1820.

Digitized by Google

de la découverte *précise* d'un *fait expérimental indubitable* : j'ai nommé le phénomène de l'induction électrique.

Ampère, construisant l'électrodynamique, est surtout fécond en imaginant son génial et si simple solénoïde : il dote, en effet, du même coup, l'industrie naissante d'un de ses plus souples organes : l'électro-aimant. Ampère ne démontra pas l'identité du magnétisme et de l'électricité comme on l'énonce, à tort, trop souvent, mais plus précisément *l'identité de l'aimant et du solénoïde*. Nous sommes toujours à chercher ce que sont le magnétisme, l'électricité, mystères encore capables, sans nul doute d'admirables merveilles cachées sous un voile dont le génial Ampère, leva largement, il y a cent ans, l'un des coins.

Et de même, quelqu'importantes que soient les conceptions de Faraday sur la parenté probable entre lumière et électricité, conceptions que les phénomènes de polarisation rotatoire magnétique, phénomènes *expérimentalement* découverts d'ailleurs, lui font pressentir, —.quelque suggestives que soient les idées de l'élève de Faraday, Maxwell, construisant, *dès* 1865, à propos de l'identité numérique entre V, viteses de la lumière, et le rapport des unités électriques, la théorie électromagnétique de la lumière, — ce qui fût vraiment et profondément fécond, en ce domaine, c'est la géniale découverte de Hertz créant, *de toute pièce*, le résonateur électrique, l'œil électrique, admirable par sa simplicité, après avoir d'ailleurs, *le premier*, construit un oscillateur fonctionnant d'une manière constante et continue. Je n'invoquerai pour preuve de la fécondité de cette découverte *expérimentale* des ondes hertziennes qu'une comparaison de durée. Entre 1865, date de la théorie de Maxwell et 1888, réalisation des ondes hertziennes, 23 ans s'écoulent, alors que, dès 1894, en mes expériences dans les caves de la Faculté des Sciences de Bordeaux et dès 1896, en celles si rapidement développées de M. Marconi, c'est-à-dire en moins de six ans, l'admirable moisson que devait être la T. S. F. commençait à naître.

Excusez, Messieurs, ces quelques digressions. Il m'a paru essentiel de bien situer tout ce qu'une *découverte expérimentale* de l'ordre de celle des ondes hertziennes comporte de fécond dans le domaine des applications pratiques. Ayant, il y a, aujourd'hui, plus de trente ans, réalisé un des premiers essais de leurs applications pratiques, je reste convaincu, que quelque formidable essor qu'aient pris ces ondes dans les applications aux communications sans fil, c'est dans le domaine

Digitized by Google

des communications *avec fil, c'est la T. S. F. avec fil,* qui marquera un essor des applications des ondes hertziennes encore plus important par sa fécondité que la T. S. F. elle-même.

Hertz et les physiciens qui ont répété ses expériences, ont étudié les oscillations électriques dans un champ constitué par deux fils métalliques parallèles se terminant du côté de l'excitateur par deux plaques

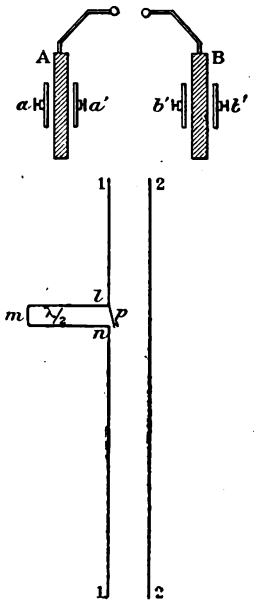


Fig. 1. — Le champ hertzien interférent.

Deux fils identiques 1, 2, liés à a et a' ou à b et b' le réalisent. Si l'un des fils comporte une longueur additionnelle de fil $lmn = \frac{\lambda}{2}$ et qu'on lie 1 à a et 2 à b, le champ est *ordinaire* jusqu'à l et *interférent* à partir de p. Le pont p supprimant ou non lmn transforme, à volonté, le champ des deux fils d'ordinaire en interférent ou inversement.

de concentration respectivement parallèles aux plateaux de l'excitateur et voisines de ceux-ci.

Ce champ d'oscillations constitue le champ ordinaire à deux fils de Hertz. Il présente la propriété bien connue suivante : Un résonateur circulaire de Hertz, déplacé à partir de l'excitateur en maintenant son plan perpendiculaire à celui des fils de concentration, présente des alternatives de fonctionnement et d'extinction. On dit qu'il décèle ainsi le système des ventres et des nœuds successifs, des ondulations stationnaires étagées le long des fils.

Nous avons montré, en 1894, qu'un résonateur circulaire de Hertz

Digitized by Google

possédant une coupure de quelques centimètres, indépendamment de celle offerte par le micromètre, présentait les mêmes phénomènes.

En combinant le résonateur électrique à coupure que nous avons imaginé dès 1894, au champ hertzien interférent dont nous indiquions les propriétés dès 1898 (*Sur le champ hertzien*, C. R. Ac. des Sc. 28 mars 1898; Soc. Sc. Ph. Nat. Bordeaux, 31 mars 1898, voir aussi *Thèses*, 1899), on peut agir à volonté et à distance sur celui de deux ou plusieurs résonateurs de longueurs d'ondes différentes, qu'on désire actionner.

Supposons que les deux plateaux A et B de l'excitateur (*fig.* 1) soient disposés parallèlement, aussi éloignés que possible, et flanqués chacun de deux plaques métalliques indépendantes, parallèles au plateau d'excitateur dont elles concentrent les effets et dont elles sont d'ailleurs le plus rapprochées possible. Si l'on joint le fil 1 à l'une quelconque des plaques b, b' voisines de B, on constitue un champ ordinaire de HERTZ à deux fils. Si l'on joint les deux fils 1 et 2 à deux plaques voisines du même plateau excitateur (fil 1 et plaque a, fil 2 et plaque a'; ou encore fil 1 et plaque b, fil 2 et plaque b'), le résonateur déplacé le long des deux fils *ne décèle plus aucun système de ventres et de nœuds.*

Il y a *interférence* tout le long du champ. On sait que chaque fil considéré seul, agit sur le résonateur.

Pour distinguer le champ à deux fils ainsi obtenu du champ ordinaire à deux fils de HERTZ, nous lui avons donné le nom de champ interférent.

On peut, très aisément, transformer un champ interférent à deux fils en champ ordinaire à deux fils sans changer les communications des fils avec les plaques de concentration a, a', b, b'. Il suffit pour cela d'intercaler, dans une coupure, ln, faite sur l'un des fils, une longueur *additionnelle* de fil lmn égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur servant à l'investigation du champ (*fig.* 1).

Le champ est-il interférent entre l'excitateur et la longueur additionnelle, il sera *ordinaire* à partir de la longueur additionnelle et inversement. On peut d'ailleurs transformer la partie du champ qui est champ ordinaire en champ interférent : il suffit de supprimer à l'aide d'un pont p la longueur additionnelle de fil intercalé.

On conçoit aisément qu'il sera dès lors possible d'agir *à volonté* et *à distance* sur un résonateur par la mise en place ou l'enlèvement

Digitized by Google

du pont mobile qui supprime ou intercale la longueur additionnelle de fil.

Supposons, en effet, qu'on ait constitué un champ interférent à deux fils. Un résonateur placé à l'extrémité des fils la plus éloignée de l'excitateur demeurera muet tant que le pont commandant la longueur additionnelle la supprimera. Il sera actionné dès que le pont sera enlevé; une longueur additionnelle, égale à la demi-longueur d'onde du résonateur à influencer, étant alors intercalée sur un des fils, le champ interférent est transformé en champ ordinaire et le résonateur, situé en un ventre, fonctionne.

Supposons, en second lieu, qu'on ait constitué un champ ordinaire, à deux fils. Un résonateur placé à l'extrémité des fils la plus éloignée de l'excitateur, fonctionnera tant que le pont commandant la longueur additionnelle de fil la supprimera. Il cessera de fonctionner dès que le pont sera enlevé; la longueur additionnelle étant alors intercalée sur l'un des fils, le champ ordinaire est transformé en champ interférent et le résonateur cesse de fonctionner.

L'expérience montre encore que l'on peut actionner à volonté un résonateur placé à distance sans être obligé de tendre les deux fils de concentration du champ depuis l'excitateur jusqu'au résonateur. Il suffit que les fils soient distincts jusque et y compris la région où doit s'intercaler la longueur additionnelle de fil. Les deux fils sont réunis à partir de cet endroit. Le fil unique qui les prolonge ainsi propage ou ne propage pas l'oscillation de l'excitateur suivant que le pont qui commande la longueur additionnelle de fil est ouvert ou fermé.

En mettant en œuvre ces divers phénomènes qui se résument :

1° A constituer des champs interférents ;

2° A actionner à distance et à volonté un résonateur, et en joignant à ces faits le facile fonctionnement d'un résonateur à coupure, on peut résoudre le problème qui nous occupe dans toute sa généralité.

Supposons qu'on établisse une série de couples de fils aboutissant tous en un point commun à partir duquel un seul fil est tendu, le fil de ligne. Sur l'un des fils de chacun de ces couples une coupure est pratiquée, et une longueur additionnelle, différente de l'un des couples à l'autre, est établie et commandée par un pont. Chaque longueur additionnelle correspond à l'un des différents résonateurs situés au bout de la ligne.

Digitized by Google

La fig. 2 indique ce dispositif pour deux et quatre résonateurs différents. On voit que, suivant que les deux ponts sont tous deux ouverts,

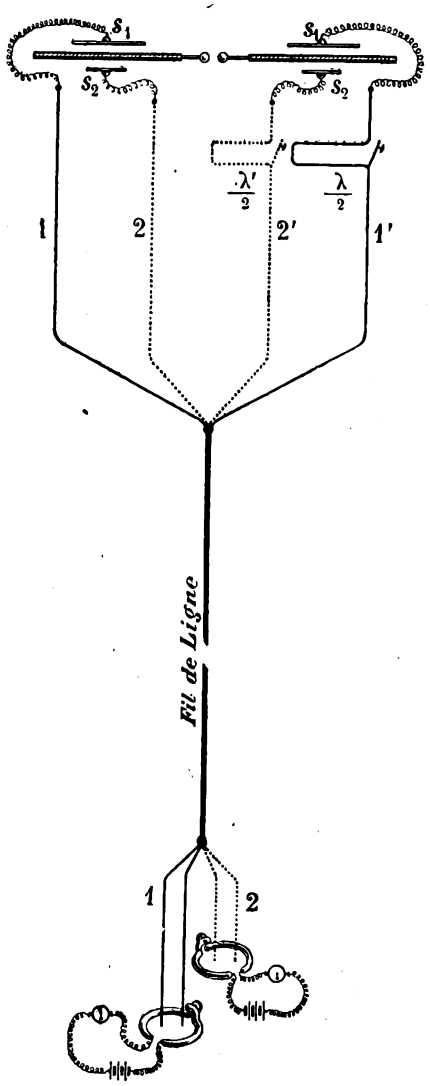


Fig. 2. — Transmission des champs par fil unique.

On peut transmettre deux ou plusieurs champs interférents produits par $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{\lambda'}{2}$, ... au moyen d'un fil unique et en faire le départ à l'extrémité du fil unique au moyen des dispositifs 1, 2, ... munis chacun de résonateurs à coupure accordés.

ou fermés, ou l'un ouvert, et l'autre fermé, les deux résonateurs sont tous deux muets, ou tous deux influencés ou l'un muet et l'autre influencé. On peut donc ainsi actionner à distance celui des deux réso-

Digitized by Google

nateurs que l'on veut et cela tandis qu'un autre expérimentateur actionne ou non l'autre résonateur.

On conçoit que, si ces résonateurs sont à coupure, on peut utiliser leur fonctionnement à l'entretien par une pile locale d'un appareil télégraphique quelconque. Il suffit que le pont situé à la station de départ et qui commande le résonateur à influencer soit lui-même invariablement lié au dispositif transmetteur de l'appareil télégraphique que l'on veut utiliser.

On conçoit également que l'on puisse, avec un semblable dispositif mettre en communication simultanée, non seulement plus de deux postes situés à chaque extrémité de la ligne, mais un très grand nombre de postes étagés tout le long de la ligne. Il suffit pour cela que les résonateurs employés soient tous différents entre eux et qu'ils soient bien accordés avec les plaques de concentration et les longueurs additionnelles de fils avec lesquelles ils doivent correspondre.

En réalité, pour que les résonateurs fonctionnent bien indépendamment les uns des autres, il n'est pas possible d'opérer avec un seul excitateur à plateau disposé dans chaque poste, du moins s'il s'agit d'actionner simultanément plus de deux ou trois résonateurs.

Il devient alors indispensable de constituer des excitateurs pour ainsi dire monochromatiques qui, émettant d'une façon très active une oscillation de période déterminée, soient susceptibles d'actionner vigoureusement un résonateur donné, d'ailleurs choisi par tâtonnement, à l'exclusion des autres.

Nous rappellerons ici un moyen fort simple de constituer une série d'excitateurs monochromatiques que nous avons réalisé, dès 1898. Il consistait à disposer, dans une cuve remplie d'huile de pétrole, côte à côte, toute une série de couples de sphères de laiton de diamètres décroissants (*fig.* 3).

Dans un modèle que nous avons naguère réalisé et dont un exemplaire est sous vos yeux, on a pratiqué au fond de la cuve et le long de ses parois des rainures où s'engagent les épaulements de pièces de bois destinées à supporter les sphères métalliques.

Ces pièces de bois sont d'épaisseurs différentes suivant le diamètre de la sphère qui s'y trouve fixée; l'épaisseur du support atteint le tiers du diamètre de la sphère. On a pratiqué dans chaque pièce de bois une ouverture circulaire d'un diamètre de 4 centimètres plus grand que le diamètre de la sphère. La surface latérale de l'ouverture cylindrique ainsi constituée est recouverte de clinquant et en communication avec

Digitized by Google

un fil métallique extérieur. La sphère est fixée au milieu de cette ouverture à l'aide d'une bague de bois de 2 centimètres d'épaisseur.

Les lamelles de clinquant ainsi disposées au voisinage d'un équateur de chacune des sphères et qui les entourent complètement jouent le rôle des plaques terminales des fils.

Toutes les sphères étant placées dans l'huile et à quelques millimètres les unes des autres, on les excitait avec la bobine de Ruhmkorff.

Chacun des couples de sphères de même diamètre se trouvait alors, par raison de symétrie, le siège d'oscillations de même période pour

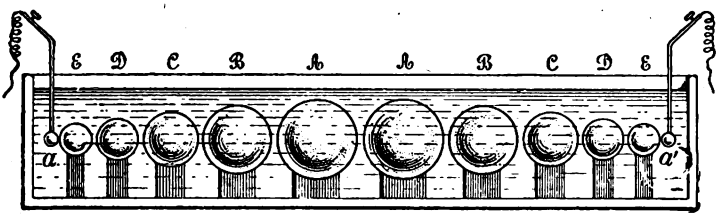


Fig 3. — Dispositif d'excitateur monochromatique de 1898.

L'étincelle oscillante entretenue entre *a* et *a'* et dissociée entre les dix couples de sphères $\mathcal{A}$, $\mathcal{A}$; $\mathcal{B}$, $\mathcal{B}$; .. $\mathcal{E}$, $\mathcal{E}$; entre chacune desquelles elle éclate, réalisait autant d'oscillateurs émettant des ondes de longueurs d'onde différentes.

chacune des deux sphères, mais de périodes différentes pour chaque couple.

Ces oscillations étaient concentrées par les lames de clinquant qui avoisinent les sphères et propagées ou non jusqu'au résonateur en accord avec le couple de sphères considéré, suivant que le pont qui commande au départ la longueur additionnelle de fil relative à ce résonateur est ou non fermé.

Nous avons expérimenté naguère (1) ces dispositifs sur une ligne aérienne mesurant 170 mètres de longueur, disposée autour des bâtiments de la Station d'électricité de Bordeaux-les-Chartrons. On n'avait pris pour l'établissement de cette ligne, d'autres soins d'isolement que ceux en usage dans la disposition des lignes télégraphiques ordinaires.

Trois postes étaient établis, l'un A au commencement de la ligne, l'autre B aux 2/3 de la longueur, le troisième C à l'extrémité.

Les cinq résonateurs accordés qui permettaient la réception entre A et B, A et C, B et C, B et A, C et B ont toujours fonctionné indépen-

(1) *C. R. Ac. des Sciences*, 26 déc. 1898, 14 mai 1900 *Soc. française de Physique*, 21 avril 1900. *Congrès de l'A. F. A. S.*, 1899, 1900 et 1903.

Digitized by Google

damment les uns des autres et sans que, une fois réglés, l'envoi d'un signal destiné à l'un d'eux soit reçu par un autre. Deux de ces résonateurs étaient complets et on lisait les signaux par l'apparition d'étincelles de longue et courte durée; les trois autres résonateurs étaient à coupure et entretenaient des électro-aimants.

Ce sont les résultats obtenus dans ces expériences, comme aussi le succès des essais effectués il y a 2 et 3 ans, avec les lampes triodes et relatés aux C. R. des Congrès de l'A. F. A. S. (1921, 1922) et dans la *Revue Générale de l'Electricité* (21 sept. 1921, 14 oct. 1922 et dans le bulletin de la Société Française des Electriciens, février 1925, p. 180), qui nous ont engagé à étendre ces expériences et qui nous ont amené à réaliser une multicommunication à ondes de petites longueurs généréalisées.

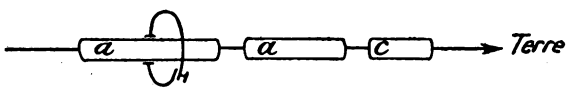


Fig. 4. — Dispositif récepteur du multiplex de 1902 à rapprocher des filtres d'ondes électriques brevetés en 1911, par M. O. Squier et préconisés récemment par M Campbell pour la téléphonie multiple.

En résumé, sur les deux principes expérimentaux suivants :

1° Les champs interférents hertziens et le fonctionnement, à leur aide, d'un résonateur à distance et à volonté;

2° le résonateur à coupure;

nous avons, de 1894 à 1898, résolu divers problèmes pratiques de télégraphie : Duplex, Diplex, Quadruplex et Multiplex qu'on trouvera détaillés au cours des deux éditions de notre ouvrage : Les applications pratiques des ondes électriques, et qui furent d'ailleurs publiés aux comptes rendus de l'Ac. des Sciences (24 mai 1900), ainsi qu'à ceux de divers Congrès de l'A. F. A. S. (Boulogne 1899, Paris 1900, Angers 1903).

Parmi ces dispositifs, nous signalerons le dispositif récepteur pour transmissions multiplex par ondes électriques que représente la fig. 4 et qu'on ne peut refuser de rapprocher de certains dispositifs de filtres d'ondes électriques, tout d'abord brevetés en 1911 par M. O. Squier puis récemment préconisés par M. Campbell.

Nous attirerons également l'attention ici sur le fait que dans ces diverses expériences nous avons constamment mis en œuvre de très courtes longueurs d'ondes variant de 1 m 25 à 3 m 75.

Digitized by Google

A lire certaines publications récentes, on pourrait croire que l'utilisation dans les applications pratiques des très courtes longueurs d'onde, de l'ordre du mètre, sont récentes. En fait, les essais de multicommunication par ondes hertziennes que j'ai réalisés avec succès de 1894 à 1900, l'ont été à l'aide de très courtes longueurs d'ondes, allant de 1 m 50 à 3 m et 4 m au plus, de ces ondes courtes qui, après avoir été quelque peu méprisées, reviennent à la mode.

On croit souvent à tort que l'utilisation des ondes courtes ou très courtes de l'ordre de grandeur du mètre, est récente.

Il est plus exact d'indiquer qu'elles reprennent faveur.

Les ondes courtes ont été utilisées les premières, et c'est à leur aide que l'on a établi les propriétés capitales tant de propagation que d'action des ondes électriques.

Nous avons toujours préconisé les ondes courtes malgré les proscriptions dont elles étaient l'objet de la part de quelques auteurs (Henri Poincaré, dans la notice sur la T. S. F. qu'il publia dans l'*Annuaire des Longitudes* de 1902, à la p. A-5 les déconseille nettement, à tort).

Lorsque HERTZ, en 1888, découvrit et fit connaître les ondes électriques, ces ondes hertziennes étaient courtes. Les ondes électriques que nous avons utilisées, en 1894, lors des premières transmissions de signaux Morse par ondes électriques, faites dans les caves de la Faculté des Sciences de Bordeaux, étaient courtes. Celles qu'utilisa M. MARCONI en 1896 en ses tous premiers essais, étaient courtes. Celles qu'en 1898 nous avons employées à la première solution de la multitélécommunication par ondes électriques étaient courtes, de l'ordre du mètre et du décamètre. Celles qu'entre 1899 et 1903 divers expérimentateurs : M. MARCONI (expériences de Wimereux, du Carlo Alberto), TISSOT, M. BRAUN et tant d'autres utilisèrent en T. S. F. à petite distance étaient également courtes.

La faveur des ondes courtes, même pour la T. S. F. n'est pas récente. On les a, momentanément, — et à tort selon moi, — abandonnées pour des raisons faciles à indiquer. Une raison toute fortuite a aiguillé, assez naturellement d'ailleurs, les expérimentateurs vers les grandes longueurs d'ondes : le succès qui couronna, dès l'abord, le choix qu'on fit comme soutien d'antenne, de la grande élévation réalisée par notre Tour Eiffel. L'œuvre remarquable d'appropriations pratiques qu'a réalisé, à partir du poste radiotélégraphique de la Tour Eiffel, M. le Général FERRIÉ, — œuvre que j'ai pu d'autant mieux suivre et admirer, que j'ai été très au courant de ses débuts par l'ami-

Digitized by Google

tié même dont voulait bien m'honorer déjà le Capitaine Ferrié, — cette œuvre unique et qui fut si féconde, est tout à fait hors de cause ici. Et l'on peut dire, l'on doit même dire que, sans la Tour Eiffel, l'essor de la T. S. F. eut très probablement été très sérieusement retardé.

Il n'en est pas moins certain que les très grandes longueurs d'ondes vers lesquelles les réalisations obtenues à la Tour Eiffel aiguillèrent, à l'envi, toutes les édifications de postes puissants, fut pour beaucoup dans l'abandon, peut être inconsidéré, des petites longueurs d'ondes.

Ces dernières semblent à l'heure actuelle être en voie de prendre enfin une assez éclatante revanche. Nous n'avons cessé de préconiser les ondes courtes et le regain de faveur à l'égard de ces ondes qui viennent en somme, grâce aux amateurs, de conquérir le monde, et sans les frais inutiles des colossales antennes, de permettre de converser d'Europe en Australie, cette faveur ne fait que confirmer la valeur pratique d'une utilisation sur laquelle nous n'avions cessé d'appeler l'attention.

Il m'a paru nécessaire de rappeler ici ces débuts de la multicommunication par ondes électriques et la forme par laquelle, il y a 29 ans, en 1898, j'y appliquais les principes expérimentaux des *champs interférents* et du *résonateur à coupure*.

L'extrême perfectionnement que l'appropriation de la valve de Fleming (1903) et de la triode de Lee de Forest (1907) apporta, tant à la réception, qu'à la production, comme à l'amplification des ondes hertziennes, ne pouvait laisser d'être appliqué au problème dont j'avais indiqué, en 1898, une première solution générale. En fait, je n'ai jamais délaissé ce problème et depuis 1920, j'en ai fixé quelques perfectionnements que je crois assez certains pour faire l'objet de ce qui va suivre, qui a d'ailleurs donné lieu à un récent brevet comme les précédents dispositifs avaient eux-mêmes abouti à notre brevet n° 278 719 du 13 juin 1898.

Aux deux principes expérimentaux précédents est ici jointe une propriété remarquable des enceintes fermées pour les ondes hertziennes, propriété dont j'ai indiqué certaines particularités dans diverses communications aux C. R. de l'Ac. des Sc. le 8 septembre 1902 et à ceux de l'A. F. A. S., au Congrès de Montauban, en 1902.

Voici l'économie générale du dispositif multicommunicateur actuellement préconisé :

Digitized by Google

Les générateurs d'ondes ainsi que les récepteurs sont à fil incandescent. Ce sont des triodes du genre de celles utilisées actuellement en radiocommunication.

Une caractéristique essentielle du dispositif réside en ce que, — à l'encontre de ce qui est constamment pratiqué en radiocommunication, — émetteurs comme récepteurs d'ondes n'ont *aucune relation avec le sol.* De plus tout l'appareillage utilisé est *très rigoureusement anti-induct*é (c'est-à-dire, disposé à l'intérieur d'une enceinte métallique continue, et ininterrompue), ce jusqu'à la base de la partie utile rayonnante de l'antenne, laquelle d'ailleurs dans un cas particulier d'établissement du réseau peut être supprimée ou tout au moins très réduite.

On élimine ainsi, — par l'anti-induction soigneusement réalisée, — la presque totalité des troubles provenant d'énergies extérieures (courants vagabonds, alternatifs ou autres, parasites, étincelles d'induction provenant de magnétos ou autres, arcs d'émissions d'ondes, cadences et émissions de Baudot, etc., etc...)

Une autre caractéristique du nouveau dispositif utilisant la triode, est dans le transport par un réseau de conducteurs ordinaires tels que ceux servant actuellement, soit aux signaux télégraphiques ordinaires, soit aux conversations téléphoniques ordinaires, soit encore et particulièrement aux transports de l'énergie.

Les cortèges d'ondes bien sélectionnées et d'une longueur unique, d'ailleurs courte, de l'ordre du décamètre, du mètre ou même du décimètre, sont ainsi canalisées et transmises, sans trouble ni mélanges, des émetteurs qui les produisent aux récepteurs qui les captent.

La fig. 5 schématise un dispositif d'émission O :

T, est une lampe triode, de préférence à cornes, ou mieux encore dont les 4 prises de courant sont aussi éloignées que possible les unes des autres et d'ailleurs symétriquement disposées par rapport à l'axe XY de la figure ;

p, est une pile ou batterie d'accumulateurs, 4 volts ;

pC, gC, les arcs d'un oscillateur circulaire, arcs constitués par du tube rigide de 12 mm de diamètre, liés en p à la plaque, en g à la grille de la triode T ;

C, est un condensateur à lame d'air qui peut se réduire à une simple coupure pratiquée dans le tube de l'oscillateur. Cette coupure, C, est reliée de part et d'autre aux pôles d'une source de courant, S_0.

Le fil F, représenté de côté pour la clarté de lecture de la figure

Digitized by Google

est, en réalité, recourbé de manière à se trouver dans le plan de symétrie XY du dispositif. La symétrie étant une des conditions *essentielles* du réglage, les prises de contact des arcs de l'oscillateur : prises de grille g, et de plaque p, doivent également être disposées symétriquement, elles sont recourbées, à cet effet; l'une, dans un sens, l'autre, dans l'autre, bien identiquement.

s, s, s, s, self protégeant les sources S_0 et P contre les ondes produites.

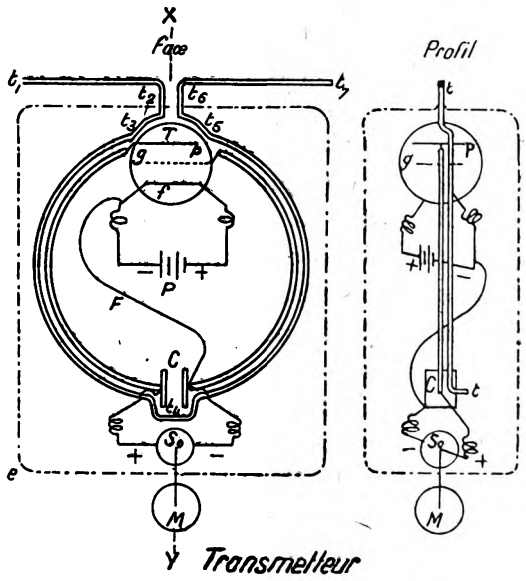


Fig. 5 — Transmetteur du multicommunicateur actuel, par ondes très courtes λ, qu'émettent des dispositifs symétriques placés en enceinte fermée, sans relation avec le sol. Face et profil.

a, axe reliant la source S_0 (dans le cas d'une dynamo-générateur S_0) à un moteur M, lequel est extérieur à l'enceinte d'anti-induction. Cette enceinte e, e, e, e, est représentée en traits discontinus; elle prend contact sur cet axe a.

Dans le cas d'usage de micro-lampes (microaudions), les sources P et S_0 sont de simples piles.

L'organe de rayonnement extérieur est réalisé par un conducteur rigide, soit en tube de cuivre de 12 mm de diamètre, contourné suivant le circuit t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7. Les parties rectilignes t_1, t_2 et t_6, t_7, correspondent à des demi-longueurs d'ondes (t_1, t_2 équivalant à $\frac{\lambda}{2}$, t_6, t_7 équivalant à $\frac{\lambda}{2}$) des ondes produites.

Digitized by Google

La partie circulaire t_3, t_4, t_5 a exactement le même diamètre que l'oscillateur gC, pC; — elle est parallèle et disposée exactement au-dessus, à l'exception de la région t_4, qui contourne le condensateur C. — Lorsque le condensateur C se réduit à une simple coupure, le cerceau circulaire t_3, t_4, t_5, est complet. La clarté nécessaire au dessin a fait représenter cette partie t_3, t_4, t_5 de la figure comme ayant un diamètre légèrement supérieur à celui du cerceau gC, pC, en réalité les deux cerceaux sont de diamètres identiques.

La figure 6 schématise un dispositif de réception R :

T est une triode aux 4 prises de courants symétriquement disposées par rapport à l'axe XY de la figure; cette triode est de préférence une microlampe ;

P, S_0, sont les piles d'alimentation des courants ;

pG, gC, les arcs (en tube rigide de 12 mm de diamètre) d'un résonateur circulaire liés en p à la plaque et en g à la grille de la triode T; le condensateur C, à lame d'air, peut se réduire à une simple coupure du résonateur. Cette coupure est reliée, de part et d'autre, aux pôles de la pile S_0.

Au-dessus de ce dispositif détecteur un résonateur circulaire à coupure, ayant exactement le même diamètre que les deux arcs pC, gC qui viennent d'être décrits, constitue l'organe de réception des ondes. A cet effet, l'arc métallique formant le résonateur circulaire à coupure est prolongé, dans son plan même, par un tube métallique t de même diamètre, qui y est soudé, qui sort de l'enceinte, e, e, e, e, par un orifice libre o disposé dans le plan de symétrie XY perpendiculaire à la figure. Ce tube est lui-même soudé au milieu N d'un tube de diamètre identique, t_1 N t_2; qui constitue l'antenne de réception et dont les longueurs t_1N = Nt_2 correspondent à la demi longueur d'onde reçue. Pour permettre une lecture aisée du dessin, cette partie du dispositif est représentée en coupe (coupe AB) dans la figure 6. Pour les relations entre postes éloignés, on utilisera à la réception une antenne séparée en deux moitiés identiques, reliées alors aux extrémités d'un résonateur complet, comme il est pratiqué pour l'antenne de transmission (voir *fig.* 5). On évite ainsi les étages d'amplifications.

Au-dessous du même dispositif détecteur, un circuit circulaire t' de même diamètre constitue le dispositif lecteur. Un résonateur circulaire, à coupure, est armé, dans la coupure, d'un récepteur téléphonique dont les cordons, soigneusement anti-inductés, sortent de l'enceinte e.

Digitized by Google

Pour permettre une lecture aisée du dessin, cette partie du dispositif est représentée en coupe (coupe IJ) dans la figure 6.

Cette même figure détaille le mode d'anti-induction du téléphone à l'aide duquel on reçoit les signaux ou la parole.

Des dispositifs particuliers faciles à imaginer permettent, pour le cas de réception téléphonique avec écouteurs, de maintenir et l'anti-induction et la parfaite symétrie des dispositifs, conditions essentielles de réglage exact et de sécurité.

Il en est de même dans le cas de réception par haut parleur, qu'ils soient du type ordinaire ou du type à cône vibrant de spires sur

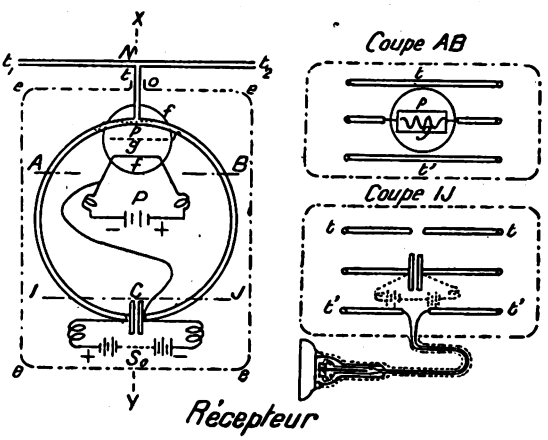


Fig. 6. — Récepteur du multicommunicateur actuel par ondes de très courtes λ, que reçoivent des dispositifs symétriques placés en enceinte fermée sans relation avec le sol Face et deux coupes.

étoffe dans un champ magnétique (type Gaumont dit S. E. G. de si pure tonalité).

J'ai pu reconnaître qu'il était aisé, en utilisant les lampes, d'assurer l'intercommunication télégraphique et téléphonique; c'est ainsi que des signaux Morse ont été transmis et reçus en même temps qu'une conversation téléphonique était échangée par le même conducteur sur lequel émetteurs et récepteurs sont étagés.

On peut ainsi parfaitement conduire simultanément trois modulations téléphoniques sur un même fil et les séparer à l'arrivée respectivement à chacun des téléphones récepteurs.

Les schémas ci-dessus représentent les dispositifs les plus simples. Il est entendu que tous les dispositifs d'accord, d'hétérodyne, d'autodyne, d'amplification par série de triodes, comme ceux de modulation dans le cas de transmission téléphonique, peuvent et *doivent*

Digitized by Google

être mis en œuvre, en observant les caractéristiques qui distinguent essentiellement cette appropriation nouvelle, savoir :

La réalisation de montage *strictement symétrique ;*

L'insertion des dispositifs dans une enceinte protectrice réalisant *une anti-induction parfaite ,*

L'absence de mise au sol ;

L'utilisation de longueurs d'*ondes très courtes* allant du décimètre au décamètre.

La figure 7 indique une distribution des dispositifs ci-dessus décrits le long d'un circuit fermé ABCDA qui peut indifféremment représen-

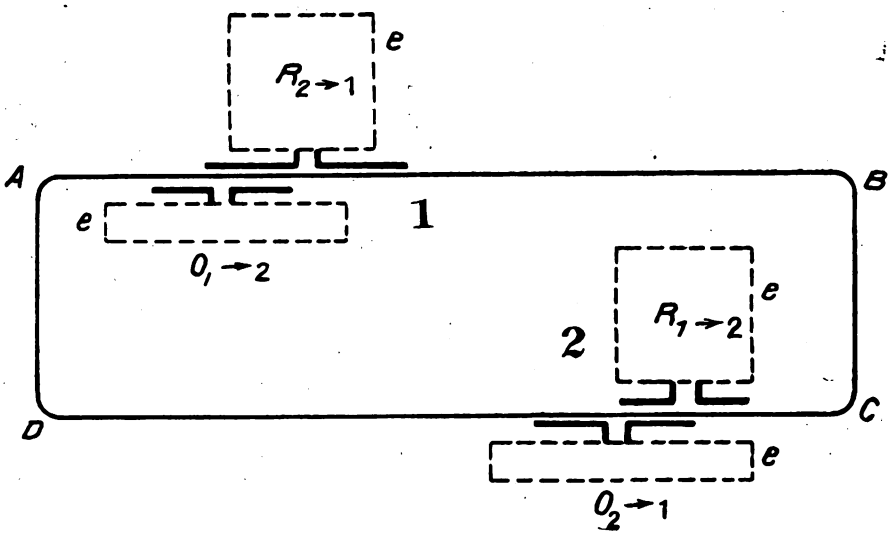


Fig. 7 — Schéma d'un multi-communicateur à ondes courtes, cas de deux postes 1 et 2. — Pour 3 postes 1, 2 et 3 on aurait 6 transmissions : 1-2, 1-3, 2-1, 2-3, 3-1 et 3-2, assurées par douze dispositifs : six transmetteurs O, six récepteurs R, étagés le long du circuit ABCD.

ter un circuit télégraphique, téléphonique ou un réseau de distribution d'énergie électrique alternatif ou continu, primaire ou secondaire, monophasé ou triphasé.

On y a représenté le cas de deux postes indiqués 1 et 2, distribués au long de la ligne en boucle ABCDA.

Les transmetteurs ou oscillateurs O sont représentés par leur enceinte fermée, *e*, *e*,... (voir fig. 7), tracée en traits discontinus et à laquelle on a donné la forme d'un rectangle. Les récepteurs R, par leur enceinte fermée *e*, *e*,... (voir fig. 7) tracée en traits discontinus et à laquelle on a donné dans la figure pour la différentier de celle d'un transmetteur la forme d'un carré. Trois postes assureraient six transmissions : six

Digitized by Google

transmetteurs O, et six récepteurs R, seraient étagés le long du circuit ABCD.

En résumé, le multicommunicateur généralisé que nous préconisons ici se distingue essentiellement :

1° Par une disposition parfaitement symétrique des circuits, selfs, capacités, triodes, piles ou générateurs de courants transformateurs, etc... et en général de tout organe servant à la production ou à la réception des ondes utilisées, symétrie qui doit être réalisée par rapport à un plan divisant l'enceinte métallique contenant l'ensemble des dispositifs (plan de tracé XY des figures 5 et 6) en deux parties égales, lequel plan est un plan de symétrie de l'ensemble.

2° Par l'*anti-induction de tout le dispositif*, tant de production que de réception des ondes.

3° Par la *suppression de toute prise de terre*, l'accord entre chaque producteur d'onde et le récepteur d'onde qui lui est associé étant réalisé par une disposition invariable des divers organes de production comme de réception des ondes. Ces organes se trouvent soustraits à toute influence perturbatrice extérieure.

Les réglages s'effectuent, s'il y a lieu, de l'extérieur de l'enceinte, au moyen de tiges isolantes disposées de façon à ne détruire ni l'*intégrité de l'enceinte*, ni la *symétrie parfaite* des dispositifs.

4° Par la canalisation des ondes à la surface des réseaux au voisinage desquels elles sont produites et qui les guide jusqu'au voisinage des dispositifs récepteurs accordés qui captent ces ondes.

A ce dernier égard, ainsi que nous le marquons plus haut, tout réseau déjà établi et quel qu'il soit, peut servir à la mise en relation des éléments émetteurs et des éléments récepteurs de notre multicommunicateur généralisé. Pour permettre cette utilisation, l'anti-induction cesse à la base de la partie utile rayonnante de l'antenne. Pour l'émission comme pour la réception, l'antenne est séparée en deux moitiés identiques, correspondant chacune à une demi-longueur de l'onde utilisée.

Cependant une simplicité encore plus grande des dispositifs et une sécurité plus absolue des réglages sont assurées si l'on consent à réserver une ligne spéciale au multicommunicateur généralisé.

On fait encore ici application du principe expérimental que nous avons établi en 1902, concernant les propriétés des enceintes fermées.

Le conducteur unique qui doit relier les divers postes en multicommunication généralisée ne doit cependant pas être un simple fil de métal.

Digitized by Google

Ce conducteur doit être anti-induct é.

Dans le type le plus perfectionné de notre multicommunicateur, on peut n'utiliser comme ligne que des câbles à revêtement strictement métallique.

Toutefois le conducteur intérieur du câble n'est pas absolument nécessaire.

Il peut être avantageux, au point de vue économique, de remplacer le conducteur intérieur par un isolant quelconque, d'aussi bas prix soit-il. Un simple tube métallique suffirait même puisqu'en fait on n'utilise que la surface du conducteur.

On peut attacher ce câble à une ligne télégraphique, téléphonique ou même à une ligne à haute tension. Il peut également servir de conducteur aux courants télégraphiques, téléphoniques ou même de haute ou de basse tension, sans cesser pour cela d'assurer d'une manière parfaite la relation des éléments associés du multicommunicateur.

Et l'on conçoit dès lors que la forme la plus sûre, comme la plus économique de mise en pratique du système de multicommunicateur que nous préconisons, soit de l'associer intimement à une ligne de distribution d'énergie. Les conducteurs de cette ligne, au lieu d'être seulement filiformes, seront cylindriques et creux, soit à fil intérieur, soit à âme isolante : ils conduiront effectivement l'énergie électrique par leur section annulaire en même temps que la surface interne du cylindre annulaire qui les constitue canalisera les ondes assurant, à l'abri de tout trouble extérieur, les relations entre émetteurs et récepteurs, eux-mêmes en enceinte fermée du multicommunicateur ainsi associé au réseau d'énergie.

On a objecté que l'utilisation de ces dispositifs sur une ligne à haute tension en service, présentait des dangers d'électrocution et aussi que le passage des ondes de la haute à la basse tension des transformateurs, ou inversement, n'était pas prévu et semblait difficile.

Je crois pouvoir répondre qu'un dispositif relativement simple, qui a d'ailleurs fait l'objet d'une addition au brevet décrivant les dispositifs que je viens d'indiquer, répond complètement à ces deux nouveaux desiderata.

Ce dispositif confère une sécurité tout à fait de l'ordre de celle des câbles haute tension ou des transformateurs, lesquels permettent de faire voisiner les tensions très élevées et les autres conducteurs.

Je me permets de souligner combien cette nouvelle conception des conditions d'exploitation pratique de réseaux confondus d'intercom-

Digitized by Google

munications et d'énergie, est plus voisine de la réalisation possible que ne le sont, à l'heure actuelle encore, les projets de distribution d'énergie par ondes avec ou sans fil.

A l'heure actuelle, avec les instruments si parfaits que sont les valves de FLEMING et de LEE DE FOREST, on peut aisément concevoir et même tracer le plan détaillé d'assez vastes réseaux téléphoniques entièrement desservis par des ondes courtes de T. S. F. Et le nom de réseau sera particulièrement adapté à la désignation de ce dispositif. A l'encontre de ce qui existe actuellement, en effet, au lieu d'une double ligne reliant l'abonné au bureau central un seul conducteur passant chez tous les abonnés suffira. De central, plus n'est besoin. C'est la suppression et de la demoiselle du téléphone et même du si coûteux et si encombrant dispositif automatique : Strowger, Lorimer ou autres...

Chaque abonné dispose, comme émetteur, de la gamme des longueurs d'onde du réseau. Chaque longueur d'onde remplace un numéro de téléphone. Un abonné n'a qu'un seul récepteur, accordé sur une seule longueur d'onde. Il est nécessaire d'émettre sur cette longueur pour se faire entendre de lui. Mais il possède toute la gamme d'émission des longueurs d'onde et réalise, par simple accord d'une bobine et d'un condensateur, la longueur d'onde propre au correspondant à qui il veut parler. Ce dernier l'entend dès lors. Veut-il répondre ? Il doit, à son tour s'accorder sur la longueur d'onde propre à celui qui lui parle. Libre à lui d'ailleurs, de se contenter d'écouter sans répondre. Et par là se trouve satisfait le désir si souvent exprimé de ne plus être, obligatoirement, l'esclave du téléphone. Alors qu'à l'heure actuelle, dès qu'on a décroché l'appareil et crié le premier : « Allo », on est pris dans la conversation, avec la radiotéléphonie multiple par courtes ondes l'obligation de s'accorder pour répondre, permettrait de pouvoir dépister les fâcheux.

Et ce mode empruntant la forme particulière de conducteur annulaire que j'envisageais tout à l'heure ne justifie-t-il pas l'audace du terme abrégé par lequel je me permettrai de résumer cette relation : la T. S. F. avec fil.

Mais il y a plus : le même réseau permettra l'intercommunication mobile. Associant aux champs interférents les moyens actuels de la T. S. F., il est possible, d'une station mobile — d'une automobile par exemple, — de se mettre en communication avec le réseau et de se mettre en relation avec n'importe quel abonné.

Digitized by Google

Je demeure persuadé que l'état actuel de la technique des ondes rend extrêmement prochaine la réalisation pratique de ce schéma d'intercommunication de tout ordre. Ainsi nos conquêtes sur les choses dominent de mieux en mieux et si merveilleusement le monde qu'on ne sait quoi le plus admirer, de la simplicité parfois enfantine, mais toujours géniale, des découvertes premières de la science ou de la merveilleuse multiplicité des applications que l'humanité en tire.

OBSERVATIONS, par M. Reynaud-Bonin

Les considérations historiques exposées au début de la communication de M. TURPAIN sur la multicommunication généralisée, sont conformes à l'enseignement traditionnel de la télégraphie multiple ou multiplex, tel qu'il a été donné par de nombreux auteurs, mais il ne s'agit pas encore d'ondes hertziennes. Il y a évidemment les mêmes possibilités d'emploi, ainsi que le remarque tout de suite M. TURPAIN, pour les ondes hertziennes que pour les procédés de multicommunication par courants vibrés. Les expériences faites par M. TURPAIN dès l'année 1894 avec des ondes hertziennes courtes n'ont été cependant, quel que puisse être leur intérêt théorique, que des expériences de laboratoire sans portée pratique consécutive. Les nouvelles expériences qui ont été faites en se servant des lampes triodes comme générateurs, récepteurs, ou amplificateurs des ondes hertziennes ont permis, il est vrai, de faire de la multicommunication pratique, avec ou sans fil, mais les possibilités de sélection sont encore loin d'être étendues à bon marché à un grand nombre simultané de postes.

M. TURPAIN propose également d'utiliser la propagation des ondes hertziennes dans des enceintes conductrices fermées. Tout l'intérêt possible de cette idée, n'enlève rien à la difficulté du problème de la sélection.

Il y a une grande hardiesse à laisser entrevoir (p. du mémoire) que le réseau téléphonique de l'avenir pourrait être constitué par un seul conducteur creux passant en série par tous les postes de tous les abonnés du réseau et que chacun d'eux émettrait à volonté sur une longueur d'onde différente pour appeler à volonté chaque correspondant. Sans rien nier des possibilités de l'avenir, les expériences faites jusqu'à ce jour sont encore insuffisantes pour qu'on se laisse aller à développer cette idée trop longuement.

Digitized by Google

Rapports annuels de la 2e Section sur les Progrès dans la Technique de l'Éclairage

A l'exemple de l'Illuminating Engineering Society des Etats-Unis, la 2e Section de la Société Française des Electriciens a décidé de publier chaque année un résumé des progrès réalisés pendant l'année précédente dans les diverses branches de la technique de l'éclairage.

Chaque chapitre, qui ne constituera pas une mise au point d'ensemble de la question, sera rédigé par un spécialiste que ses occupations professionnelles maintiennent parfaitement au courant de la question qu'il traite.

SOMMAIRE :

1° Lampes à arc, par M. Maurice Leblanc, p. 594.
2° Les lampes à incandescence, par M. Maisonneuve, p. 597.
3° Projecteurs et phares, par M. Marsat, p. 600.
4° L'éclairage des rues par l'électricité en France en 1927, par Desarces, p. 604.
5° Les systèmes d'éclairage intérieur, par M. Wetzel, p. 613.
6° Les méthodes de calcul des éclairements, par M. Wetzel, p 615.
7° Les progrès de l'optique physiologique, par le Docteur Couvreux, p. 618.
8° L'action thérapeutique de la lumière, par le Docteur Saidman, p. 622.
9° Applications biologiques de la lumière, par M. Leblanc, p. 627.
10° L'éclairage des scènes de prise de films, par M. Leblanc, p. 631.
11° Progrès réalisés dans la technique de l'enseigne lumineuse, par M. Fonsèque, des Etablissements Paz et Silva, p. 638.

LAMPES A ARC

par M. M. Leblanc

Arcs entre charbons ; arcs électrodes de tungstène ; lampes à vapeur de mercure en quartz ; reproduction de dessins.

Lampes à arc entre charbons.

L'Elektrotechnische Zeitschrift du 9 décembre 1926 donne la description d'une nouvelle lampe à arc, à lumière jaune, dont la durée des charbons est de 120 h. La tension entre électrodes est de 42 V. On protège la région du globe qui donne issue à la plus grande partie des

Digitized by Google

rayons lumineux utiles, en l'entourant d'un second globe annulaire qui empêche le refroidissement du globe intérieur et contraint la poussière de charbons à se déposer dans des régions plus froides. Le rendement lumineux est d'environ 25 lumens par watt.

Si les lampes à arc ne sont plus très utilisées pour l'éclairage, elles conservent encore néanmoins quelques applications importantes, en particulier comme sources d'ultra-violet. Divers modèles ont été établis pour ce dernier usage. On trouve, en particulier, dans *Illuminating Engineering* de novembre 1926, la description d'un arc dont les deux électrodes sont contenues dans un tube de quartz, ce qui permet d'obtenir des arcs longs de 7 à 8 cm, dont le spectre est spécialement riche en ultra-violet. On trouvera d'ailleurs, dans *General Electric Review* d'octobre 1926, les résultats de recherches qui montrent que la flamme est la partie de l'arc émettant la plus grande partie du rayonnement ultra-violet, les électrodes en émettent très peu. L'intensité de ce rayonnement croît très rapidement quand on augmente la tension entre charbons, le courant dans l'arc, et aussi la longueur de celui-ci.

Lampes à arc à électrodes de tungstène.

Un très grand nombre d'arcs à électrodes de tungstène à air libre, pour courant continu ou pour courant alternatif, sont maintenant utilisés, particulièrement en Angleterre, pour l'ultra-violet médical. Ils permettent de constituer des appareils facilement portatifs et d'un prix d'achat peu élevé. Mais ces avantages qu'ils présentent sur les lampes à vapeur de mercure en quartz, sont malheureusement compensés par une moindre facilité d'utilisation : l'arc n'est pas très stable et il émet des fumées désagréables; il faut en outre remplacer périodiquement les électrodes.

Lampes à vapeur de mercure en quartz.

La plupart des cliniques étant actuellement pourvues de lampes à vapeur de mercure en quartz, la tendance actuelle dans la construction de ces appareils est de réaliser des lampes simples, de faible intensité et de prix modéré qui puissent convenir à des particuliers.

Digitized by Google

M. Cotton a présenté à la Société française de Physique, le 4 février 1927, un arc à vapeur de mercure à grand éclat particulièrement utile pour les mesures de pouvoir rotatoire et de biréfringence. La source de lumière est la tache cathodique de l'arc. En prenant comme unité arbitraire d'éclat, pour la radiation verte, l'éclat de l'arc Cooper Hewitt en verre, on a pu obtenir, sur des surfaces de 5 mm², des éclats, en régime permanent, de 250 à 562. Pendant un temps de l'ordre de la minute, on peut atteindre, en élevant la tension aux bornes de l'arc, des éclats de l'ordre de 1 000 unités arbitraires.

M. Dunoyer a présenté à la Société Française de Physique, le 18 mars 1927, un arc à vapeur de mercure en pyrex, à grand éclat, dans lequel la source de lumière est la colonne positive de l'arc. Il a obtenu des brillances de 200 bougies par cm² sur l'axe de la colonne lumineuse longue d'une trentaine de millimètres, alors que la brillance de l'arc Cooper Hewitt est seulement de 2 à 3 bougies par cm².

Reproduction des dessins industriels.

Il y a peu de choses nouvelles à dire sur le développement des appareils pour la reproduction des dessins industriels.

Si on est préoccupé avant tout d'obtenir des tirages très rapides, sans souci de la dépense d'énergie, on emploie, surtout en courant continu, des lampes à arc qui permettent de dépenser en un petit espace une grande quantité d'énergie, mais dans la plupart des cas, et surtout en courant alternatif, il est plus avantageux d'avoir recours aux lampes à vapeur de mercure dont la forme permet la réalisation de machines simples, sans déplacement de la source lumineuse et dont le rendement actinique est très élevé. Les modèles actuellement utilisés sont, à quelques modifications de détail près, connues depuis plusieurs années.

Digitized by Google

LES LAMPES A INCANDESCENCE

par M. MAISONNEUVE

Chef du service de l'éclairage à la Compagnie des lampes.

Lampes d'éclairage général, lampes d'automobiles.

A. — *Lampes d'éclairage général.*

Pendant l'année 1927, on a constaté une tendance générale vers l'amélioration du rendement des lampes.

En 1926, la réédition du cahier des charges pour la fourniture des lampes à incandescence à filament métallique dans le vide (fascicule n° 169, établi le 8 février 1922 et modifié le 2 juin 1926), avait déjà consacré l'accroissement important du rendement des lampes de ce type, obtenu au cours des dernières années, en augmentant de 8 pour cent à 23 pour cent, suivant les puissances, les chiffres de base publiés en 1922.

La technique de la fabrication a permis de réaliser de nouveaux progrès en 1927; les derniers rendements atteints restent, d'ailleurs, conformes aux spécifications générales du cahier des charges, puisqu'on y a supprimé les limites maxima de flux lumineux et de rendement, laissant ainsi le champ libre aux constructeurs pour le perfectionnement de la qualité des lampes.

Cette tendance générale vers l'amélioration des rendements se retrouve dans les modifications qui ont été apportées au cahier des charges des lampes en atmosphère gazeuse (fascicule n° 84, établi le 9 juillet 1924), lors de sa révision, le 7 décembre 1927 : la nouvelle édition de ce document comporte, en effet, les changements suivants : suppression de la limite inférieure pour la puissance consommée et de la limite supérieure pour le flux lumineux et le rendement.

Le rendement, au lieu d'être caractérisé, comme précédemment, par la consommation spécifique en watts par lumen est exprimé, désormais, en lumens par watt.

Digitized by Google

Aux spécifications contenues dans ce document, il a été ajouté une normalisation des diverses dimensions des lampes et, notamment, de la hauteur du foyer lumineux. Cette normalisation s'imposant de plus en plus, par suite du développement pris par l'éclairagisme, il devenait indispensable d'être fixé à l'avance sur l'encombrement des lampes et sur la position exacte du foyer lumineux, afin de pouvoir calculer les appareils d'éclairage d'une façon rationnelle.

Par suite des progrès réalisés dans la fabrication des lampes en grande série, il a été possible de ramener les tolérances admises sur les cotes des lampes de ± 5 pour cent, respectivement à :

± 3 pour cent pour les lampes 75 et 100 watts;

± 5 mm pour les lampes au-dessus de 100 watts.

Il faut signaler, enfin, la modification apportée à la clause de durée :

Sur l'ancien cahier des charges, il était indiqué que « un envoi de lampes peut être refusé lorsque plus de 20 pour cent des lampes mises à l'essai n'atteignent pas la durée utile ».

Dans la nouvelle édition, ce paragraphe est remplacé par le suivant : « un envoi de lampes peut être refusé lorsque la moyenne des durées utiles des lampes essayées n'atteint pas la durée utile indiquée à la colonne D du tableau A ».

De ce fait, il est tenu compte des durées ayant dépassé le chiffre indiqué au tableau A, c'est-à-dire, 800 ou 1000 heures suivant les types.

Il ne faut pas oublier que, quelque perfectionnée que soit la technique actuelle, elle ne permet pas de fabriquer des lampes dont la durée utile soit uniformément égale à celle indiquée au cahier des charges : en effet, si on essaie les lampes d'un même lot, on constate qu'un certain nombre d'entre elles claquent avant la durée moyenne prévue mais que, par contre, pour d'autres lampes, la baisse de flux lumineux n'atteint 20 pour cent qu'après une durée de fonctionnement bien supérieure à celle exigée.

Il est donc logique de considérer la moyenne des durées utiles, ainsi que le spécifie le cahier des charges.

B. — *Lampes d'automobiles.*

Des progrès appréciables ont été réalisés, en 1927, dans le rendement des lampes d'automobiles.

Digitized by Google

D'autre part, le perfectionnement de la technique de fabrication a permis d'améliorer considérablement le centrage du filament par rapport au culot. Aussi, la Chambre Syndicale Patronale des Fabricants d'Accessoires et de Pièces détachées d'Automobiles, de Cycles et d'Appareils aériens a-t-elle resserré la tolérance normalisée pour la distance de 26,2 mm entre le centre géométrique du filament et le plan de portée des ergots. Cette tolérance a été ramenée de + 2 mm à + 0,5 mm et les lampes qui satisfont à cette condition sont appelées « lampes à filament centré » (feuille de norme N° 8 publiée par l'organisme précité).

Enfin, nous rappelons que l'on construit actuellement des lampes pour lesquelles la tolérance ci-dessus est encore plus réduite : de l'ordre du 1/10 de mm. Par suite de cette tolérance minime, on peut dire que le filament de toutes ces lampes occupe toujours pratiquement la même position par rapport au culot. Lors des remplacements de lampes, l'usager n'a plus à intervenir dans la mise au point des faisceaux lumineux. Elles ont rendu possible l'emploi de projecteurs sans réglage. C'est pour cette raison qu'elles sont souvent appelées : « lampes interchangeables ».

Digitized by Google

PROJECTEURS ET PHARES

Par M. MARSAT

Ingénieur aux Etablissements Sautter-Harlé.

Projecteurs militaires, projecteurs d'automobiles, projecteurs d'éclairage, projecteurs d'atterrissage, appareils de projection. — Phares.

Les projecteurs sont des appareils d'éclairage destinés à éclairer des buts éloignés, les phares sont des appareils qui produisent des signaux destinés à être vus par des observateurs éloignés. Néanmoins, l'on confond souvent ces deux genres d'appareils et l'usage a presque consacré les deux expressions phares d'automobile, projecteurs de signalisation. A noter, dans ces dernières années, une réaction assez vive en faveur de l'appellation « *projecteurs d'automobile* ».

PROJECTEURS

Ces appareils se classent en plusieurs catégories correspondant à divers emplois qui exigent une concentration plus ou moins accentuée de la lumière.

Projecteurs militaires. — Jusqu'ici on a recherché, pour ces appareils, la concentration la plus parfaite de l'énergie lumineuse.

L'année 1927 aura été marquée par la construction, en France, de projecteurs utilisant de façon satisfaisante des charbons de très petits calibres à l'aide de lampes comportant un mécanisme qui fait tourner le charbon positif; le cratère est maintenu en position par un relais optique appelé généralement thermostat, le charbon négatif avance pour maintenir la tension prévue. La fabrication des charbons à très haut éclat utilisés dans ces projecteurs, semble être au point en France, au moins pour les courants de 150 et 200 A. Les essais de ces

Digitized by Google

projecteurs ont montré qu'il était nécessaire d'envisager des types différents, les uns étant destinés à avoir la plus grande portée sans que l'on ait à se préoccuper de la dimension du champ, les autres, au contraire, ayant pour but d'éclairer un champ notable. Selon les cas, il sera nécessaire d'utiliser des appareils excessivement précis avec des charbons susceptibles de donner l'éclat le plus élevé, ou, au contraire, des appareils un peu moins précis et des charbons de diamètre plus élevé qui ont l'avantage de brûler moins vite.

Projecteurs d'automobiles. — Ces appareils qui exigent une assez grande précision sont divisés en deux catégories principales, les projecteurs de route éclairant surtout les lointains et les projecteurs Code éclairant surtout les premiers plans. Les uns et les autres sont, à l'heure actuelle, établis le plus souvent pour utiliser des lampes précises et ne comportent aucun dispositif de réglage. Il y a là un énorme progrès au point de vue de la commodité de l'usager, progrès amorcé dès 1924 et consacré en 1927.

Projecteurs d'éclairage. — Jusqu'ici les appareils destinés à *l'éclairage des façades* ou des édifices sont peu répandus. Ils nécessitent une moindre concentration de la lumière et, le plus souvent, ils sont constitués par des lampes à incandescence dites demi-watt et des réflecteurs qui ne sauraient satisfaire aux exigences des projecteurs militaires ou des projecteurs d'automobiles. A noter les échecs d'appareils destinés à produire au-dessus de localités fortement éclairées des faisceaux visibles la nuit. Pour obtenir un résultat satisfaisant, il aurait fallu diminuer la luminosité générale ce qui n'était pas possible, ou mettre en jeu une quantité d'énergie hors de proportion avec les disponibilités.

L'éclairage des studios à l'aide de projecteurs a pris un grand essor. Les appareils construits en France dépassent de beaucoup, en nombre, les appareils américains qui étaient les seuls en usage dans notre pays il y a quelques années, mais ils commencent à être concurrencés par les appareils allemands. Le courant maximum des arcs utilisés dans ces appareils, qui était assez uniformément de 150 A a passé dans quelques applications, à 300 A et même à 500 A. On peut signaler l'emploi, dans quelques-uns de ces projecteurs, de réflecteurs à facettes qui constituent, au point de vue théorique, une optique fort

Digitized by Google

imprécise, mais dont les imperfections systématiques produisent une uniformité du champ éclairé qui est un avantage certain. L'emploi de ces projecteurs exige une variation incessante de l'angle de divergence : aussi les optiques simples que l'on utilise ne représentent que bien rarement la solution exacte du problème d'éclairage qui est à résoudre. Les réflecteurs sphériques ne correspondent jamais à la solution parfaite et représentent, cependant, la solution moyenne la plus satisfaisante.

Projecteurs d'atterrissage. — Ces appareils sont destinés à éclairer les champs d'atterrissage pour les aéronefs et doivent être étudiés de façon fort différente selon leur répartition, toujours fixée à l'avance. Les différents appareils réalisés conviennent chacun à un cas particulier. On comprend sans peine que les appareils répartis autour du terrain d'atterrissage n'ont pas besoin d'avoir la même répartition de lumière que s'ils étaient groupés en un seul point.

Appareils de projection. — Très différents, comme construction, des projecteurs, les appareils de projection sont destinés à projeter une image sur un écran. La substitution des miroirs aux condensateurs a permis de diminuer notablement le courant dépensé dans les lampes à arc; grâce à l'emploi des verres spéciaux, tels que le Pyrex, ces miroirs assurent un long service. D'autre part, on note un emploi de plus en plus fréquent des lampes à incandescence qui ont une plus grande régularité de fonctionnement que les lampes à arc, mais donnent assez souvent un éclairement un peu moins uniforme du champ. Dans les petits appareils, la lampe à incandescence l'emporte nettement.

Phares

Dans ces dernières années, la France a mis en service, très intermittent il est vrai, deux phares qui sont réellement les plus puissants du monde entier ; ce sont : le phare du Mont Affrique construit par les Etablissements Barbier, Bénard et Turenne, et le phare du Mont Valérien, construit par les Anciens Etablissements Sautter-Harlé. La puissance lumineuse de ces appareils ne peut être photométrée directement, elle ne peut qu'être évaluée par des calculs qu'il est facile de contester. Les évaluations les plus modérées indiquent, comme ordre de grandeur, que la puissance de ces appareils est de 1 milliard de

Digitized by Google

bougies ; leur portée par temps clair dépasse largement 300 kilomètres mais il ne faut pas oublier qu'à cette distance, l'avion qui veut apercevoir le phare doit se tenir au-dessus de 1 500 mètres et au-dessous de 5 000 mètres.

Dans les phares maritimes, tout autant que dans ceux qui sont destinés à l'aéro-navigation, on constate l'emploi de plus en plus général des lampes électriques à incandescence. L'emploi des appareils à acétylène est particulièrement intéressant dans les feux à occultations.

Digitized by Google

L'ÉCLAIRAGE DES RUES PAR L'ÉLECTRICITÉ EN FRANCE, EN 1927

par M. DESARCES,

Ingénieur en chef à la Compagnie parisienne de distribution d'électricité.

Nature et puissance des foyers : lampes à arc ; lampes à incandescence ; appareils d'éclairage (réflecteurs, réfracteurs) ; disposition des foyers (supports, hauteur du point lumineux, espacement des foyers) ; éclairements réalisés.

Il n'apparaît pas que, en France, au cours de l'année 1927, de nombreuses dispositions nouvelles aient été réalisées pour l'éclairage des rues par l'électricité.

Mais, comme ce mode d'éclairage tend à se développer de plus en plus dans les villes et dans les communes, on peut dire que, dans ces dernières années, les foyers et les appareils se sont fixés à des types bien définis, en remarquant que, en 1927, la tendance a été de continuer à faire un plus large emploi des réfracteurs Holophane, du moins dans certaines villes importantes.

La présente note donne l'état de la question.

I. — NATURE ET PUISSANCE DES FOYERS.

Lampes à arc. — Il n'a pas été fait d'installations nouvelles avec lampes à arc.

Ces lampes, qu'on ne rencontre guère encore que dans certaines voies de Paris, sont appelées à disparaître; c'est ainsi que le nombre en service dans la capitale est passé de 2 400 en 1920 à 2 153 en 1926 et à 1 833 en 1927.

Digitized by Google

Les lampes à arc utilisées sont du modèle Bardon en vase clos; elles fonctionnent sous 42 V et pour des intensités de 8, 10, 12 et 15 A (1).

Lampes à incandescence. — On rencontre quelquefois, et pour de faibles puissances de 25 à 60 W, des lampes à filament métallique dans le vide; mais, en général, on emploie les lampes à filament métallique dans un milieu gazeux, de puissance variant de 75 W à 500 W. Il est rare d'utiliser de plus fortes puissances (à Paris il existe quelques lampes de 1 500 W).

Le filament des lampes à atmosphère gazeuse est en couronne jusqu'à 200 W inclus; au delà de cette puissance, il se fait en feston.

Les foyers lumineux ne comportent en général qu'une seule lampe. Dans les localités où il est de règle de diminuer l'importance de l'éclairage des voies à partir d'une certaine heure de la soirée ou de la nuit, on éteint un certain nombre de foyers, judicieusement choisis, ou bien, solution qui n'est guère d'un usage courant qu'à Paris, on diminue la puissance des foyers eux-mêmes. A cet effet, on utilise, soit des foyers comportant deux ou trois lampes enfermées dans le même globe de l'appareil d'éclairage, soit des lampes à deux filaments.

Avec les appareils bilampes ou trilampes, une seule lampe reste allumée toute la nuit, les autres ne fonctionnent que jusqu'au milieu de la soirée (généralement jusqu'à 21 h 15). Avec les lampes à deux filaments, ces derniers sont de puissance différente et permettent de réaliser, par exemple, un régime d'éclairage de 500 W au début de la soirée, puis de 150 W jusqu'à la fin de la nuit.

En 1926 et 1927, la majorité des installations nouvelles de la capitale ont été faites avec des lampes à deux filaments (2). Il existe aussi quelques-unes de ces lampes dans la ville de Nancy.

Nous signalons enfin que, sauf de rares exceptions, il n'est pas fait usage de lampes dépolies ou semi-dépolies.

II. — Appareils d'éclairage.

Les principaux types d'appareils en usage en France sont les suivants (figures 1 à 6).

(1) Nous signalons qu'un type de lampe à arc perfectionné d'après les brevets Carbone (lampe dia-Carbone) se fabrique depuis quelques années en Allemagne (Etablissements Korting et Mathiesen, à Leipzig), pour des intensités de courant allant jusqu'à 30 ampères, permettant d'obtenir un flux de 44 000 lumens. Dans ces lampes, la durée des charbons atteint 120 h (90 à 100 avec les lampes Bardon). A Berlin, il y en aurait 2 000 en service.

(2) Dans ce cas l'appareil d'éclairage comporte un réfracteur Holophane.

Digitized by Google

a) Réflecteurs ordinaires, genre abat-jour, en tôle émaillée, avec ou sans globe : on en place dans les écarts ou dans les localités peu

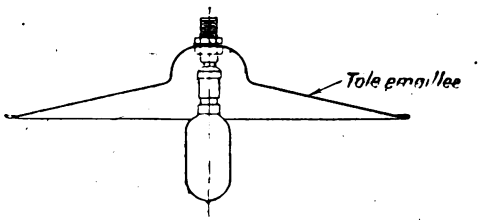


Fig. 1.

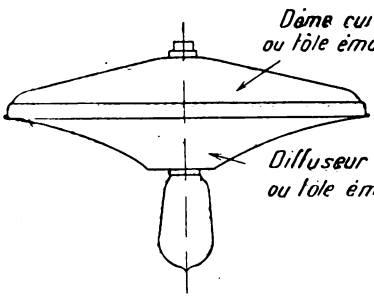


Fig. 2.

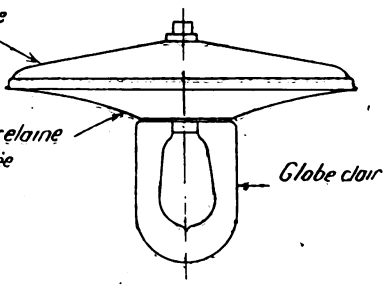


Fig. 2 *bis*.

importantes, où l'éclairage n'assure qu'un jalonnement de la voie (fig. 1).

b) Appareils comportant une armature supérieure en forme de dôme, en cuivre rouge ou en tôle émaillée, supportant un diffuseur en porcelaine blanche ou en tôle émaillée, en forme générale de cône évasé dont le sommet est dirigé vers le sol (fig. 2).

L'appareil est quelquefois complété par un globe allongé, clair ou opalin, qui renferme la lampe, en laissant la surface diffusante à l'extérieur (fig. 2 *bis*).

Ce type est très courant dans les petites villes et dans les communes.

Digitized by Google

c) Appareils comportant : un dôme en cuivre rouge, plus ou moins décoré, un réflecteur amovible placé à l'intérieur, le support de la lampe et un globe fermé, opalin généralement (fig. 3).

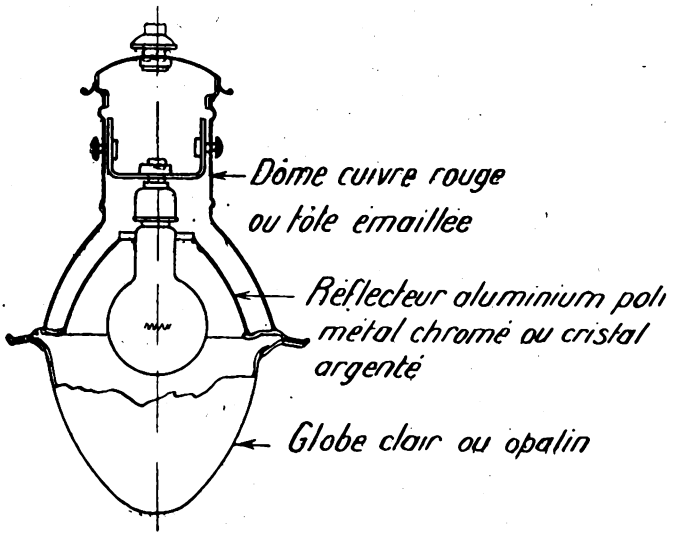


Fig.3.

Le réflecteur est en aluminium poli, en métal chromé ou en cristal argenté. Le métal chromé présente une surface brillante sans qu'il y ait à en faire le polissage. Avec le cristal argenté, l'argenture est revêtue d'un cuivrage électrolytique et d'un enduit protecteur.

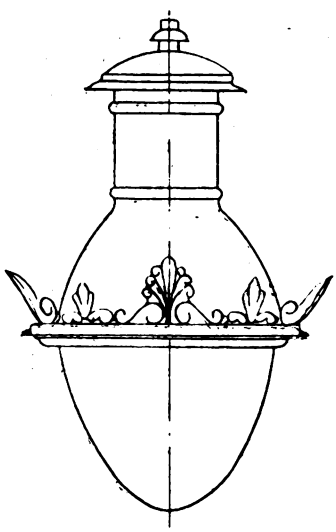


Fig. 3 *bis*.

Digitized by Google

Ce genre d'appareils permet l'utilisation de lampes de toute puissance et se prête à la réalisation de lanternes d'un aspect décoratif. On en rencontre dans les villes d'une certaine importance.

Les foyers bilampes et trilampes en service à Paris sont constitués de cette façon, avec un réflecteur en aluminium poli.

d) Appareils analogues à celui décrit ci-dessus (*c*), mais comportant un globe réfracteur Holophane (ensemble de deux verreries prismatiques emboîtées l'une dans l'autre) au lieu d'un simple globe uni. Ils s'équipent pour des puissances jusqu'à 1 000 W (fig. 4).

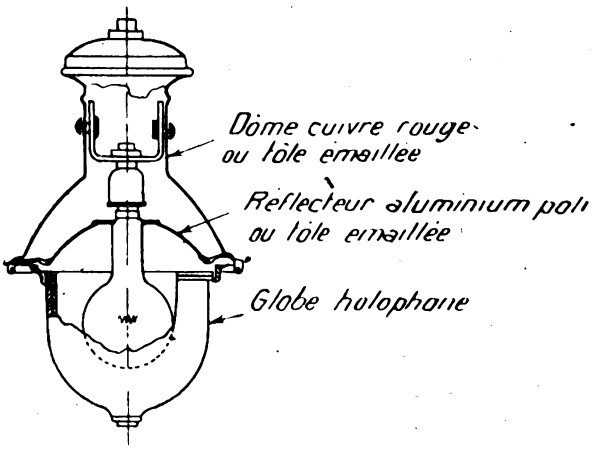


Fig. 4.

Le réflecteur intérieur jouant ici un faible rôle, présente des dimensions moins grandes que dans l'appareil précédent; il est en tôle émaillée ou en métal poli.

Différents modèles de globes Holophane, dits « asymétriques », sont établis pour assurer la répartition lumineuse la plus rationnelle, dans certains cas particuliers; ce sont :

— les réfracteurs à quart réfléchissant, tels que la plus grande partie du flux lumineux soit dirigé vers la chaussée, réduisant au minimum l'éclairage des façades des maisons;

— les réfracteurs à deux directions (à 155° ou à 180°) pour les rues de faible largeur, les foyers étant placés, soit sur le côté, soit dans l'axe de la voie;

— les réfracteurs à 3 ou 4 directions pour les carrefours.

Digitized by Google

A Paris, les globes Holophane (symétriques) sont d'un emploi courant depuis 1924. Dans les installations exécutées en 1927, on a fait usage du modèle asymétrique « à quart réfléchissant » pour les rues à trottoirs étroits.

On a placé également des Holophane dans la banlieue parisienne et en province, en particulier à Nantes, Lorient, Strasbourg, Saint-Etienne.

e) Appareils analogues au type (*c*) ci-dessus, mais dont le réflecteur est remplacé par la double verrerie prismatique d'un « réfracteur dôme Holophane », (puissances jusqu'à 1 000 W).

L'appareil peut être complété par un globe ordinaire clair ou opalin (fig. 5).

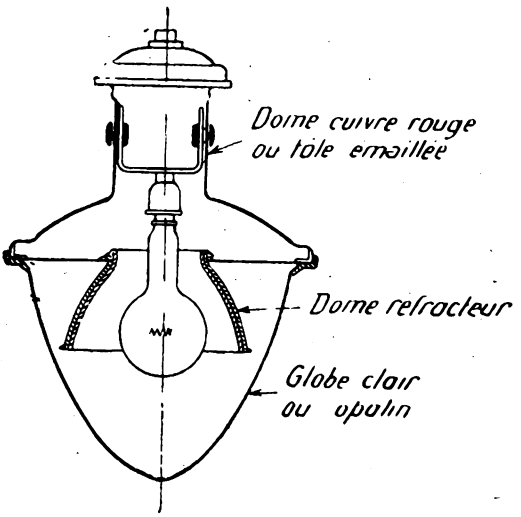


Fig 5.

Le réfracteur dôme ne semble pas être très employé : à Paris, on s'en est servi pour équiper électriquement quelques lanternes à gaz ; il y en a aussi quelques-uns dans la ville de Fontainebleau.

f) Enfin, nous signalons le réfracteur Holophane du type de l'exposition des Arts Décoratifs (Paris 1925) qui se fixe au moyen d'une lanterne en bronze à l'extrémité supérieure du support de foyer (candélabre ou bras de forme appropriée) ; l'appareil est complété par un dôme en cuivre ou en verre et une calotte en bronze qui ferment la partie supérieure du réfracteur.

Digitized by Google

Dans ce globe, la lampe est placée le culot en bas (fig. 6).

Cet appareil d'éclairage, d'aspect décoratif et tel qu'une partie du flux lumineux soit renvoyée au-dessus du plan horizontal, convient

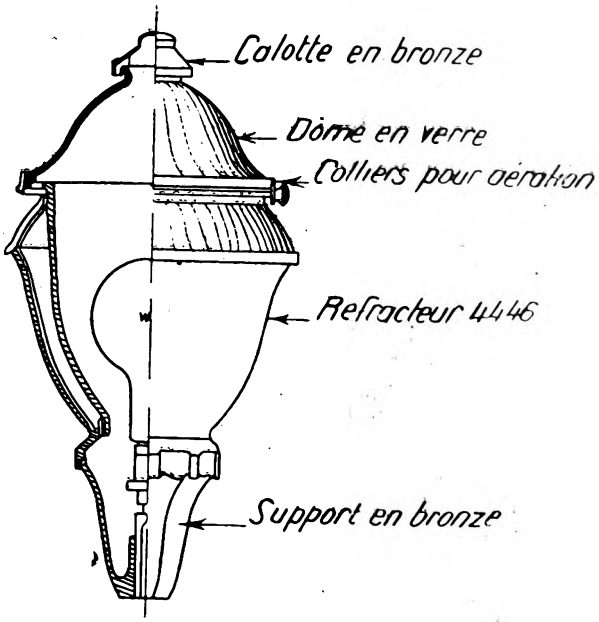


Fig 6.

en particulier aux voies plantées où la frondaison est à faible hauteur. Il est établi pour les puissances de 300 à 1 000 W.

A la fin de l'année 1926, et en 1927, il en a été mis en service dans les villes de Paris, Levallois-Perret et Strasbourg.

III. — Disposition des foyers.

Supports.

Les supports des foyers sont constitués soit par des candélabres à lyre ou à crosse (simple, double...), soit par des pylônes, soit par des poteaux de trolley en service, soit par des crosses appliques scellées aux immeubles, soit par des dispositifs de suspension dans l'axe de la voie.

Digitized by Google

Selon les localités, la proportion suivant laquelle ces différents supports sont utilisés est très variable.

A Paris, les dispositions adoptées sont les suivantes. En principe, on a recours aux candélabres à lyre sur les refuges et dans les voies non plantées ; aux candélabres à crosse, placés sur le bord des trottoirs, dans les voies plantées (1); aux candélabres à crosse, placés contre les façades des immeubles, dans les rues à trottoirs étroits. Dans certaines voies où la frondaison est à faible hauteur, on utilise les petits candélabres du modèle de l'Exposition des Arts Décoratifs (1925) dont la partie supérieure supporte l'appareil à globe Holophane décrit ci-dessus (*f*). En outre, il est de règle de se servir des poteaux de trolley existants, en y fixant une console simple ou double.

Les dispositifs à suspension axiale, dont un seul exemple existe à Paris en 1927, se rencontrent au contraire dans certaines grandes voies d'accès à la capitale (2). Il en est de même à Lyon, à Marseille et à Bordeaux où ce mode de support est le plus généralement employé ; on en trouve aussi en assez grand nombre dans leurs banlieues et dans d'autres villes (Ex. : Autun, Cahors, Lons-le-Saunier, Lorient, Nevers, Strasbourg, Vichy).

Hauteur du point lumineux.

D'une manière générale, on peut dire que la distance du point lumineux au sol est comprise entre 4,50 m et 6 m dans le cas des candélabres, des poteaux de trolley et des consoles scellées aux immeubles ; et qu'elle atteint 8 et 10 m avec les suspensions axiales et jusqu'à 12 et 14 m pour les foyers sur pylônes (Ex. : Marseille, Bordeaux, Rouen, Lorient).

A Paris, on a installé en 1927, au carrefour des Grands Boulevards et du Boulevard Haussmann, un candélabre provisoire à 3 consoles avec lequel la distance du point lumineux au sol est de 9 m ; celle-ci

(1) Dans les voies plantées où il existe des candélabres à lyre — cas des lampes à arc et des appareils à réflecteur (qui ont été placés avant les Holophane) — il est prévu de remplacer les lyres par des crosses lorsqu'on substituera des appareils Holophane aux foyers actuels.

(2) Nous signalons à ce sujet que, en 1927, les Cies d'électricité de la banlieue parisienne ont nommé une Commission d'étude de l'éclairage des voies ; à la suite de ses travaux, de très intéressantes transformations ont été effectuées au cours de l'année (Ex. : installations de suspensions axiales, avenue de Fontainebleau, au Kremlin-Bicêtre et avenue d'Orléans, à Montrouge, avec foyers de 500 W placés à 9,50 m de hauteur et espacés de 50 m à 60 m environ).

Digitized by Google

sera portée à 11,25 m après le remplacement de l'appareil par un autre plus élevé, d'aspect décoratif, actuellement à l'étude.

Espacement des Foyers

Les valeurs généralement adoptées pour le rapport $\frac{d}{h}$ de l'espacement des foyers à leur hauteur au-dessus du sol sont les suivantes :

	Rapport $\frac{d}{h}$
Avec appareils à réflecteur du type *(c)* ci-dessus.	5 à 6
Avec appareils Holophane.	8 à 10

IV. — Eclairements réalisés.

D'une manière générale, les éclairements moyens sur le plan horizontal sont voisins des chiffres ci-après, en lux :

Pour les voies à faible circulation	de 0,5 à 1,5
— voies à circulation moyenne	— 2 à 3
— voies à circulation intense	— 5 à 12

Digitized by Google

LES SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE INTÉRIEUR

Par M. WETZEL

Ingénieur à la Compagnie des Lampes.

Evolution de l'éclairage intérieur en France

L'éclairage intérieur a subi depuis quelques années en France, une évolution remarquable qui ne fait que s'accentuer et qui consiste dans l'application des méthodes rationnelles aux projets d'éclairage et à la transformation des installations existantes. Les caractéristiques de ces méthodes sont, d'une façon générale, l'emploi d'éclairements plus élevés, que permettent de réaliser les nouvelles sources de lumière de meilleur rendement, l'utilisation d'appareils étudiés pour éliminer l'éblouissement, dont on a reconnu les graves inconvénients, et l'application plus étendue des systèmes d'éclairage général, même lorsque l'on conserve les éclairages locaux nécessaires à l'éclairement intensif de surfaces réduites et bien délimitées.

C'est ainsi que, dans l'industrie, on fait un usage de plus en plus général de réflecteurs larges et profonds et que l'on a tendance à supprimer les petits réflecteurs plats, forme assiette, répandus partout autrefois. Dans les bureaux, on s'attache plus particulièrement à éliminer l'éblouissement par réflexion. On utilise à cet effet, soit l'éclairage indirect, soit l'éclairage par diffuseurs, ou verreries prismatiques. Les magasins ont peut-être été les premiers à reconnaître les avantages de l'éclairage rationnel. Le côté commercial, attraction de la clientèle, ne doit pas être étranger à ce fait. Les lampes nues pour l'éclairage des vitrines tendent à disparaître. Les appareils employés sont, en général, des réflecteurs asymétriques, placés à la partie supérieure de la vitrine et dissimulés aux yeux des passants.

L'évolution dont nous venons de parler s'est produite également dans divers pays étrangers. Ce qui est plus particulier à notre pays, c'est l'importance de plus en plus grande prise par l'éclairage dans les ensembles décoratifs. Le goût et l'ingéniosité française ont pu, en

Digitized by Google

effet, se donner libre cours dans la composition de luminaires décoratifs, ou d'ensembles lumineux, alliés à l'architecture, dont nous avons pu avoir un aperçu à l'Exposition des Arts Décoratifs. L'éclairage, traité par nos décorateurs ou nos architectes, devient partie intégrante de la construction ou du mobilier. On fait appel à de larges surfaces diffusantes en verre pressé, clair, dépoli ou opale, pour réaliser, soit des corniches, soit des appliques, soit des chapiteaux, soit d'autres éléments qui font partie de l'ensemble architectural. Il ne faut pas oublier non plus le goût actuel que nous avons pour les bibelots lumineux, qui n'est peut-être pas une mode et qui renouvelle l'art du bibelot.

Nos intérieurs profitent largement de cette évolution et nous savons maintenant créer cette lumière douce, qui favorise le repos et donne du charme à notre home.

Digitized by Google

LES MÉTHODES DE CALCUL DES ÉCLAIREMENTS

par M. WETZEL,

Ingénieur à la Compagnie des Lampes.

Utilité du calcul des éclairements ; éclairage extérieur ; éclairage intérieur.

Si l'on savait bâtir des maisons, voire des cathédrales à une époque où l'on ignorait les principes mathématiques de la résistance des matériaux, il n'en est pas moins vrai que cette science a rendu possible les hardiesses du béton armé et les ouvrages d'art dans lesquels nos ingénieurs sont passés maîtres. S'il n'est pas toujours indispensable de calculer un éclairement pour être bien éclairé, le calcul des éclairements dans un projet d'éclairage, permet néanmoins d'éviter bien des mécomptes et de se faire une idée plus exacte de ce que l'on recueille réellement comme lumière pour une dépense d'énergie donnée. Pour connaître le rendement d'une installation d'éclairage, on calcule généralement le quotient du flux utile, c'est-à-dire du flux qui atteint la surface qu'il est utile d'éclairer par le flux total émis par les lampes. Pour calculer ce premier flux, il faut calculer l'éclairement moyen de cette surface.

Deux méthodes générales peuvent être applicables, suivant qu'il s'agit *d'éclairage* intérieur ou *d'éclairage extérieur*.

Dans le cas de l'éclairage extérieur, l'influence des murs peut être négligée. On emploie donc les méthodes de calcul directes d'après les formules bien connues donnant l'éclairement en fonction de l'intensité lumineuse et de l'inclinaison du plan considéré par rapport aux rayons lumineux. Lorsque le nombre des foyers et le nombre des points dont il faut calculer l'éclairement sont assez grands, on a cherché à faciliter le travail par diverses méthodes que nous allons rappeler brièvement.

Digitized by Google

M. WETZEL a indiqué, dans la *Revue Générale de l'Electricité* du 21 novembre 1925, une méthode qui permet de calculer, soit l'éclairement linéaire moyen le long d'une parallèle à l'axe de la rue, connaissant la courbe photométrique de l'appareil et l'écartement des foyers, soit l'éclairement moyen sur une bande de terrain délimitée par deux de ces parallèles, par exemple la chaussée ou les trottoirs. Cette méthode conduit à l'établissement d'une courbe caractéristique d'un type d'appareil, qui permet de trouver immédiatement la valeur de ces éclairements moyens, quelle que soit la hauteur ou l'écartement des foyers, ou réciproquement, de faire immédiatement un projet d'éclairage, en déterminant, par exemple, l'écartement des foyers correspondant à un éclairement donné. Les calculs nécessaires à l'établissement des courbes dont nous venons de parler, peuvent s'effectuer facilement au moyen de coefficients et de tableaux que M. WETZEL a donnés dans les Cours d'éclairage de l'Ecole des Travaux Publics et qui vont être reproduits incessamment dans une brochure de la S.P.E.

M. COHU a indiqué, dans un article du 11 septembre 1926, paru dans la *Revue Générale de l'Electricité*, une autre méthode applicable seulement aux appareils symétriques, qui permet de calculer la proportion de flux reçu par une chaussée de largeur donnée, pour une courbe photométrique donnée et une hauteur donnée du foyer lumineux. Les calculs sont facilités par une série de courbes établies une fois pour toutes.

Il faut citer également les méthodes de calcul décrites par M. COHU dans la *Revue Générale de l'Electricité* du 13 mars 1926, relatives aux éclairements moyens réalisés par des projecteurs pour l'éclairage des voies de triage.

Dans les méthodes précédentes, l'éclairement envisagé est toujours l'éclairement sur un plan horizontal, qui est, par exemple, celui d'une voie publique. On peut se demander si l'éclairement sur les surfaces verticales ne serait pas également intéressant à considérer.

M. WETZEL dans un article de la *Revue Générale de l'Electricité* du 3 juillet 1926, se montre partisan, dans le cas des voies publiques, du calcul des éclairements sur des surfaces verticales perpendiculaires à l'axe de la chaussée et il indique une méthode analogue à celle employée pour les éclairements horizontaux, qui permet d'obtenir les éclairements verticaux moyens, soit sur une droite parallèle à l'axe de la rue, soit sur toute la surface correspondant à la chaussée ou aux trottoirs. Ces facteurs conduisent à l'établissement de courbes carac-

Digitized by Google

téristiques d'un type d'appareil, comme dans le cas des éclairements horizontaux.

Les méthodes employées en *éclairage intérieur* sont presque exclusivement expérimentales, à cause de la difficulté que présentent les calculs du fait des réflexions multiples sur les murs et le plafond. M. WETZEL a décrit dans les numéros des 22 et 29 décembre 1923, de la *Revue Générale de l'Electricité*, une méthode basée sur la connaissance de certains facteurs déterminés expérimentalement par WARD HARRISSON et appelés coefficients d'utilisation.

M. DOURGNON, dans un article de la *Revue Générale de l'Electricité*, a rappelé comment ces facteurs pouvaient être déterminés. Dans un autre article, paru le 11 février 1928 dans la même revue, M. DOURGNON a indiqué des formules mathématiques qui peuvent conduire au calcul direct, grâce à certaines hypothèses, de l'éclairement moyen sur le plan utile, connaissant les facteurs de réflexion des murs et du plafond. Enfin, M. DOURGNON a étudié récemment, dans le numéro du 7 avril 1928 de la *Revue Générale de l'Electricité*, certaines méthodes correspondant à divers dispositifs d'éclairage : surface diffusant suivant la loi de Lambert, dans le cas de réflexions multiples sur une surface concave uniformément éclairée dans un globe diffuseur fermé, dans une surface translucide entre deux surfaces opaques, entre une surface opaque et une surface translucide. Puis il a examiné les propriétés des verres dépolis et imprimés qui ne diffusent pas suivant la loi de Lambert. Il a déterminé la brillance émergente et le critérium physiologique d'égalité de la brillance transmise.

Digitized by Google

RAPPORT SUR LES PROGRÈS DE L'OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE

par M. le Dr Couvreux.

Travaux de Pollack sur le chromatisme de l'œil ; de Couvreux et de Welter sur la constriction pupillaire ; de Haas sur le contraste et sur la physiologie de la peinture ; sur l'incapacité de l'œil à différencier deux couleurs, l'une simple, l'autre composée ; sur le minimum perceptible de variation d'éclairement en fonction de cet éclairement ; de Blondel et Rey et de Piéron sur la variation avec le temps de la quantité minima de lumière susceptible d'impressionner l'œil ; de Piéron sur le rôle des cônes et des bâtonnets ; de Haas Couvreux sur la variation de l'acuité visuelle aux brillances faibles ; de Faillie et Wetzel sur la variation de la vitesse des réactions visuelles en fonction de l'éclairement.

Illustrée par Young, Helmholtz, Maxwell et plus récemment par Broca, l'optique physiologique est actuellement à peu près délaissée. C'est que de nouveaux champs de recherches, incomparablement plus vastes, s'offrent aujourd'hui à l'activité des physiologistes : l'immense domaine de l'action sur l'organisme des radiations de courte longueur d'onde et celui de l'action de l'électricité sur le système neuro-musculaire accaparent leur attention. Et il faut bien reconnaître que dans un moment où la physique s'occupe surtout de scruter la structure de la matière, les questions à l'ordre du jour chez les biologistes semblent bien celles dont la solution paraît la plus propre à nous renseigner sur l'organisation intime de la matière vivante.

Sans doute, le jour où la nature de l'influx nerveux, par exemple, sera connu, l'optique et l'acoustique physiologiques auront, par contre-coup avancé d'un grand pas et les physiologistes se remettront-ils avec ardeur à l'étude de phénomènes dont la complexité les déconcerte, en ce moment où l'absence de toute théorie générale ne permet aucune explication ni aucun classement rationnel des phénomènes connus, non plus qu'aucune expérimentation systématique. Mais, actuellement, aucun lien, aucune cohésion n'existe entre les diverses recherches effectuées par les quelques personnes qui s'occupent encore de la physiologie des sensations et les progrès réalisés dans sa connaissance sont fort minces.

Digitized by Google

En ce qui concerne la réfraction de l'œil, un seul travail est à retenir : celui de POLACK sur le chromatisme de l'œil. On sait que l'œil normal est doué d'aberration chromatique : POLACK a montré qu'un œil emmétrope et non accommodé était au point pour le jaune-vert et par conséquent myope pour les couleurs du jaune-vert au violet et hypermétrope du jaune-vert au rouge. Partant de cette constatation, POLACK a fait établir des objectifs photographiques *chromatiques* reproduisant le plan que donne la vision des objets colorés, objectifs qui donnent des images procurant une sensation de relief très artistique.

La pupille a été étudiée par quelques expérimentateurs. Nous avions déjà montré que la présence de plages éclatantes dans le champ visuel provoque une diminution sensible du diamètre pupillaire et que la perte de lumière qui en résulte est une des nombreuses causes qui interviennent pour produire l'éblouissement. WELTER a montré avec rigueur que les rayons ultra-violets, quoique invisibles et absorbés en grande partie par le cristallin, provoquent une constriction pupillaire intense, d'où le grand intérêt qu'il y a à supprimer autant que possible ces radiations dans les éclairages usuels.

En physiologie proprement dite, il faut citer les très intéressants travaux de HAAS sur le contraste et la physiologie de la peinture : tout objet situé sur un fond plus clair paraît entouré d'un liséré plus sombre et tout objet situé sur un fond plus sombre paraît entouré d'un liséré clair tandis que le fond lui-même paraît entouré d'un liséré plus clair dans le premier cas, plus sombre dans le second. C'est le phénomène improprement appelé « contraste » et dû à ce que les oscillations incessantes de l'œil amènent les images des bords de l'objet et du fond à se faire sur des régions inégalement fatiguées, donc inégalement sensibles de la rétine. Si l'objet se déplace sur le fond, un bord clair envahissant un fond sombre paraîtra bordé d'un liséré clair, un bord sombre envahissant un fond clair paraîtra bordé d'un liséré sombre. De même, un bord clair quittant un fond sombre, laissera un liséré sombre, un bord sombre quittant un fond clair, laissera un liséré clair. HAAS a vérifié que les peintres reproduisent depuis longtemps ce phénomène pour suggérer l'idée de mouvement.

Dans un autre travail, HAAS a montré que l'œil était incapable de différencier deux couleurs, l'une simple, l'autre composée, identiques

Digitized by Google

d'aspect, en vision prolongée, *quelle que soit leur intensité commune et la durée pendant laquelle la rétine est impressionnée.* Cette connaissance est d'autant plus intéressante que le même auteur, complétant les travaux de Broca sur l'ondulation de fatigue, avait montré que celle ci est plus accusée pour le rouge et le bleu que pour le jaune vert et que, d'une façon générale, la courbe traduisant ses valeurs variait en sens inverse de la courbe de sensibilité de l'œil aux différentes couleurs. On pouvait craindre, par conséquent que, pour un signal coloré rapidement perçu, et produit par une source non monochromatique, les seules couleurs perçues fussent celles pour lesquelles l'ondulation de fatigue était assez grande par suite de leur intensité relative et de leur position dans le spectre : les expériences de Haas montrent qu'il n'en est rien et que la composition de la couleur du signal est indifférente; celui-ci garde en lumière composée le même aspect qu'il aurait en lumière monochromatique, quelle que soit la durée pendant laquelle on le perçoit.

Enfin Haas a étudié quelle était, en fonction d'un éclairement donné, la variation d'éclairement minima instantanée, perceptible par l'œil. Il est arrivé aux nombres suivants :

Eclairements en lux	0,15	0 30	0 50	1	10	50	100
Variation en centièmes	8,5	7,5	6,3	4	2,5	2	1,8

La surface éclairée était une surface de magnésie dont le coefficient de diffusion est très élevé. On voit par là que l'intensité d'une source lumineuse électrique alimentée par du courant non continu ne doit pas varier en centièmes de plus des valeurs précitées pour l'éclairement correspondant d'une surface si l'on veut que celle-ci ne présente pas de papillotement.

On sait que Blondel et Rey ont montré que la loi générale des excitants s'appliquait à l'action de la lumière sur l'œil, c'est-à-dire que la quantité q de lumière nécessaire pour impressionner l'œil était, toutes choses égales d'ailleurs, de la forme $a+bt$, t étant le temps d'excitation et a et b deux constantes positives. Il en résulte que, lorsque le temps d'excitation diminue, q diminue également et tend vers une limite. Après une série d'expériences très délicates, Pieron a conclu que q passait par un minimum pour des temps très courts (de l'ordre de 1/1000 de seconde). Ces résultats sont contestés par Blondel. Quoi qu'il en soit, si les résultats de Pieron sont confirmés,

Digitized by Google

il conviendrait de donner aux signaux brefs une durée bien définie pour leur assurer le maximum de perceptibilité, quitte, bien entendu, à augmenter corrélativement la puissance mise en jeu pendant ce temps, d'ailleurs fort court.

PIERON a recherché aussi quel était le rôle respectif des cônes et des bâtonnets. Il est arrivé à cette conclusion que les bâtonnets étaient plus sensibles que les cônes et sensibles également à des excitations plus courtes, mais qu'ils ne donnaient qu'une sensation lumineuse brute sans distinction des formes; celle-ci est dévolue aux cônes dont la fonction apparaît ainsi nettement différente de celle des bâtonnets.

L'acuité aux faibles brillances a été étudiée par HAAS et COUVREUX qui ont montré que sa variation, d'abord rapide, diminuait brusquement pour des brillances de 30.10^{-7} bd/cm^2, valeur pour laquelle elle est d'environ 0,2. L'intérêt de ces expériences réside surtout dans un effort pour substituer à la notion d'éclairement des objets perçus, celle, beaucoup plus logique, de leur brillance.

Enfin, il importe de signaler les travaux effectués par FAILLIE, WETZEL et leurs collaborateurs au Conservatoire des Arts et Métiers, pour évaluer la vitesse des réactions psychomotrices visuelles en fonction de l'éclairement. Des mesures faites, il résulte que le temps de réaction diminue de 0,30 à 0,18 seconde pour des éclairements croissant de 1,5 à 30 lux et diminue encore, mais plus lentement, pour des éclairements plus grands. Le fait de passer de 18 à 30 lux, diminue de plus du quart le temps de réaction. Il semble donc que l'éclairage des locaux industriels doive être d'au moins 30 lux dans tous les plans de travail et qu'un meilleur éclairage des rues, lequel dépasse rarement quelques lux, diminuerait beaucoup la probabilité des accidents de la circulation.

Digitized by Google

L'ACTION THÉRAPEUTIQUE DE LA LUMIÈRE

par le Docteur SAIDMAN,
Directeur de l'Institut d'Actinologie

Développement de l'actinologie ; sources ; doses ; accidents ; activation des éléments.

Développement de l'actinologie.

L'actinologie — nom sous lequel nous englobons l'utilisation médicale des rayons ultra-violets, visibles et infra-rouges — a continué à se répandre dans les milieux médicaux. On estime qu'en 1922 une dizaine de médecins seulement appliquaient les rayons ultra-violets en France, tandis qu'en 1927, plus de mille utilisent des sources d'énergie radiante.

Pour contribuer à la mise au point de cette nouvelle science et pour permettre aux chercheurs de trouver l'appareillage et la clinique nécessaires aux expériences, nous avons créé un *Institut d'Actinologie*, inauguré le 25 février 1927 par M. HERRIOT, Ministre de l'Instruction Publique. Cet Institut, installé 6, Passage Dombasle comporte deux sections : une section thérapeutique formant dispensaire, dans laquelle on applique les diverses sources de rayons actuellement existantes — et une section de recherches pour étudier le mode d'action des diverses longueurs d'onde.

Pour discuter les questions à l'ordre du jour, des réunions ont lieu tous les trois mois, auxquelles sont conviées les personnes s'intéressant à la lumière. Les comptes rendus en sont publiés dans les *Annales de l'Institut d'Actinologie*.

Une série de conférences internationales sur la lumière et la chaleur a eu lieu à Londres en décembre 1927, avec une exposition de nombreux appareils. Cette réunion avait été organisée par le *British Journal of Actinotherapy* et le Dr KERR RUSSELL y a obtenu un réel succès.

Digitized by Google

On annonce pour septembre 1928 des réunions à Lausanne-Leysin, organisées par le Professeur ROSSELET, et pour octobre 1929 un Congrès International à Paris, avec une exposition d'appareils, organisée par l'Institut d'Actinologie.

Ayant ainsi indiqué sommairement l'ensemble de l'activité en actinologie il me reste à passer en revue, dans ses diverses parties, les progrès réalisés récemment.

Sources. — Ce sujet ayant été décrit par M. LEBLANC, sera ici à peine ébauché. Les directives susceptibles d'être données aux techniciens par les actinologistes concernent moins la présentation de leurs lampes que l'étude du rayonnement émis. On doit rechercher la richesse de la source en rayons de 3 100 à 2 900 A, radiations très actives contre le *rachitisme.*

Des recherches de SONNE et RECKLING poursuivies à l'Institut Finsen de Copenhague, il résulte que le maximum de pouvoir antirachitique se trouve pour la lampe à mercure à 3 020 et 2 970 A. Ces résultats confirment les conclusions antérieures de HULDSCHINSKY, de PACCINI, de HESS et WEINSTOCK, selon lesquels les radiations actives sont arrêtées par le verre ordinaire (absorbant au-dessous de 3 130 A). Cependant, d'après MOURIQUAND, BERNHEIM et THEOBALD, les radiations traversant le verre à l'oxyde de nickel (3 660-3 345 A) seraient douées d'un pouvoir antirachitique égal au vingtième du rayonnement total d'une lampe à vapeur de mercure.

Dans la tuberculose, la gamme spectrale active est plus étendue : des améliorations ont été obtenues à l'Institut d'Actinologie, avec des radiations traversant le verre à l'oxyde de nickel ou avec les infrarouges (d'une simple résistance chauffante) seuls. Mais les résultats sont incomparablement plus lents que ceux obtenus avec l'ensemble du rayonnement des lampes pour actinothérapie. Divers auteurs tendent à préférer les arcs dans le traitement de certaines formes de la tuberculose. A l'Institut Finsen, on utilise des arcs à charbon de 75 et 25 A. Les résultats signalés par REYN et HESS sont remarquables. Sir Henri GAUVAIN, à l'Institut d'Alton, commence la cure avec la lampe à mercure et la continue avec l'arc au charbon. En France, SAIDMAN, FRAIKIN et BURILL, DAUSSET et ses collaborateurs emploient avec succès l'arc polymétallique dans le traitement de la tuberculose ganglionnaire.

Doses. — De nombreux chercheurs orientent leurs travaux dans le

Digitized by Google

sens d'une mesure plus précise des ultra-violets. Les procédés chimiques utilisés (d'ailleurs très peu) jusqu'à ces dernières années, font place à des procédés physiques et notamment à ceux utilisant les cellules *photo-électriques*. Nous pouvons signaler les intéressantes recherches poursuivies en Angleterre par GRIFFITH et TAYLOR avec leur cellule au cadmium adaptée à un élestroscope. En Allemagne, les cellules de POHL ont servi aux mesures des rayons ultra-violets de l'arc. En France, RIO a construit un sélénomètre qui tend à supprimer les inconvénients reprochés aux actinomètres allemands de FURSTENAU, à base de sélénium. Plus récemment, MALLET a présenté un appareil composé d'un électroscope connecté à une cellule construite aux Laboratoires de GIF, avec un alliage de cadmium et d'argent.

L'avenir semble donc devoir favoriser les cellules photo-électriques, sous une réserve : que leur sensibilité sélective dans l'ultra-violet coïncide avec les radiations les plus actives en thérapeutique. C'est le cadmium ou mieux encore, un de ses alliages qui répondra vraisemblablement à cette condition. Les médecins demandent en outre que l'appareil soit robuste et que la cellule, de petites dimensions, puisse être appliquée à même la peau du malade irradié. Il faut bien entendu, que la sensibilité de la cellule ne varie pas.

Cependant, il ne suffit pas de pouvoir mesurer le rayonnement donné à un malade. Une même quantité de rayons ultra-violets, donnés à divers sujets, provoque des réactions très différentes. Certains ne font aucune réaction de la peau et d'autres présentent un érythème ou « coup de soleil » plus ou moins vif. On ne saurait prévoir exactement quelle sera la réaction d'un malade que l'on se propose d'irradier. Il en résultait jusqu'à présent un tâtonnement dans le choix des doses : la distance d'un mètre, la durée d'exposition de 2 à 5 minutes pour la première séance étaient en général insuffisantes et retardaient l'action favorable. Dans d'autres cas, où l'érythème est nécessaire, l'intensité de la réaction dépassait souvent l'effet voulu.

Cette période de tâtonnements va être supprimée grâce au test sensitométrique de SAIDMAN. L'appareil se compose d'une plaque percée d'orifices à l'emporte-pièces et d'un obturateur à mouvement d'horlogerie faisant automatiquement 18 expositions de 1 à 18 minutes par secteur. Quelques heures après l'application du test sous une lampe à rayons ultra-violets, les marques apparaissent en rouge sur la peau, ayant pris la forme des orifices (comme si elles étaient peintes au pochoir) et le médecin peut lire sur la peau quelle est la dose minima pour provoquer un érythème léger. Par rapport à cette dose, on

Digitized by Google

donne une fraction (1/3 à 1/2) ou un multiple (1 à 10 seuils), selon les maladies, on substitue à l'actinothérapie empirique de jadis, des applications rationnelles basées sur la sensibilité du malade.

Accidents produits par la lumière. — La lumière avait une réputation d'innocuité qui a beaucoup contribué à en étendre l'application. On ne connaïssait pas de cas de mort provoquée par les rayons ultra-violets, lorsque le Professeur PECH, de Montpellier, a signalé la possibilité de décès, en accusant l'actinothérapie d'avoir une action débilitante à la suite d'améliorations transitoires. Ces affirmations ont produit une grande surprise parmi les actinothérapeutes, car aucune observation précise ne leur apportait de preuves. Une enquête menée sous les auspices des *Annales de l'Institut d'Actinologie*, parmi les médecins d'enfants : Professeurs MARFAN, DEBRÉ, LEREBOULLET, Docteur LESNÉ, RIBADEAU-DUMAS, TIXIER, etc..., ainsi que parmi les spécialistes en matière d'ultra-violet, n'a pu révéler à Paris de décès provoqué par ces rayons. Si quelques observations ont été rapportées par BLECHMANN et FRANÇOIS, ROUCHE, PIQUET et INGELRANS, aucune ne prouve nettement l'action néfaste des ultra-violets. Ce qui est certain — et on le savait depuis longtemps — c'est que l'actinothérapie n'est pas une panacée et qu'elle n'empêche pas certains malades de succomber. La possibilité d'aggravation chez certains tuberculeux pulmonaires ou méningés est admissible et c'est pourquoi les rayons ne doivent être appliqués qu'après un choix judicieux des indications et par des médecins compétents.

Certains fabricants ont essayé de mettre des lampes à rayons ultra-violets entre toutes les mains, même non médicales. C'est notamment le cas en Angleterre. Un tel procédé risque de provoquer de nombreux accidents pouvant discréditer une méthode fort utile, mais délicate à manier.

A la Société de Pédiatrie, qui groupe des médecins spécialistes pour enfants, la plupart des maîtres ont été d'accord pour rejeter l'emploi des ultra-violets par le médecin praticien et à demander que ces rayons ne soient appliqués que par des médecins spécialisés. A l'Académie de Médecine, le Professeur BORDAS s'est également élevé contre l'abus des ultra-violets et demandé que leur emploi soit limité entre les mains des médecins compétents. On ne peut que souscrire à ces conclusions, dans l'intérêt des malades.

L'activation des aliments. — Une découverte américaine faite en

Digitized by Google

1922 par STEEBOCK d'une part, HESS d'autre part avec divers collaborateurs, est venue apporter un nouveau champ d'applications aux rayons ultra-violets. On s'est aperçu que l'irradiation d'un certain nombre de substances organiques, leur confère des propriétés thérapeutiques contre le rachitisme. En pratique, on s'est limité au *lait* (surtout sec), à la *cholestérine* d'abord et à l'*ergostérine* ensuite. Ces substances, soumises aux ultra-violets, acquièrent l'efficacité de *l'huile de foie de morue*, tout en étant acceptées plus facilement par les enfants.

Aussi beaucoup de fabricants de spécialités pharmaceutiques ont acquis une lampe à rayons ultra-violets. Bien que la signification exacte de l' « activation » ne soit pas encore établie, nous ne pouvions passer sous silence cette nouvelle méthode que l'on a appelée à tort « actinothérapie indirecte » et qui réalise une expression populaire : « mettre le soleil en bouteille ».

Vous voyez quel ensemble d'applications trouve la lumière dans l'art de guérir. Si l'intuition géniale du regretté BERTHELOT, qui voyait les champs de blé remplacés par des lampes à vapeur de mercure, ne s'est pas réalisée dans le domaine industriel, par contre, nous pouvons reconnaître que dans le domaine de la médecine les rayons ultra-violets et infra-rouges ont déjà donné plus qu'on n'en attendait.

Digitized by Google

APPLICATIONS BIOLOGIQUES DE LA LUMIÈRE

par M. M. LEBLANC.

Poulaillers, pièges à insectes, forceries de plantes et germination des graines

Nous ne parlerons pas ici des applications à la thérapeutique humaine, qui sont les plus importantes, mais qui font l'objet d'un rapport particulier. Les autres applications biologiques, peu développées, sont encore dans la période d'essai. Des résultats techniques certains ont été obtenus, mais les avantages économiques de ces procédés sont encore en discussion.

1° *Applications de la lumière dans les poulaillers.*

Deux buts sont poursuivis :

a) L'augmentation du nombre d'œufs pondus.

b) La croissance plus rapide des poussins.

a) La première question a déjà fait l'objet de nombreuses publications dans toutes les langues. Nous citerons, en français : les articles de René PECQUERIAUX, parus dans *La Vie à la Campagne* du 1er octobre 1925 et dans *Fil et sans Fil* du 1er février 1928.

Les résultats obtenus semblent s'expliquer assez aisément. En hiver, les poules dorment trop longtemps, s'alimentent peu, alors qu'elles ont à lutter contre le froid et ne possèdent pas les réserves nutritives nécessaires à la production des œufs. En leur procurant une heure d'éclairage au milieu de la nuit, on les oblige à prendre un repas supplémentaire. D'après les résultats publiés, l'opération est économique et peut par conséquent constituer une petite application de l'électricité à la campagne qu'il n'y a pas lieu de négliger.

b) Comme suite aux résultats obtenus dans la cure du rachitisme

Digitized by Google

humain par l'exposition aux rayons ultra-violets, des essais ont été faits à l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Wisconsin (Etats-Unis) pour appliquer ce procédé à l'élevage des poussins.

Leurs résultats ont été publiés dans le journal anglais *Poultry Tribune* et aussi dans *Deutschen Landwitschaftlichen Gelflügel Zeitung* du 22 octobre 1925.

Non seulement la croissance des poussins est extrêmement rapide, mais la mortalité généralement si élevée est supprimée. La suppression de ce déchet est suffisante pour amortir rapidement les frais de première installation.

La source d'ultra-violet utilisée était la lampe à vapeur de mercure en quartz.

L'exposition des poules adultes à la même source augmentait de 140 pour cent la production des œufs et à la couveuse les résultats heureux obtenus étaient de 62,8 pour cent contre seulement 28,8 pour cent avec les œufs de poules non irradiées.

Les essais, encore peu concluants au point de vue économique, sont activement poursuivis à l'Université de Wisconsin et aussi sur l'initiative de la Quartzlampen Gesellschaft à Wasserlos près de Hanau (Allemagne).

De plus, des essais du Dr Hughes de Kansas, rapportés dans *Poultry Tribune* de octobre 1925, montrent que les œufs venant de poules qui n'ont pas été suffisamment exposées aux rayons ultra-violets, provenant, soit du soleil, soit de sources artificielles, ne contiennent pas les vitamines nécessaires au développement normal des poussins et ne donnent naissance qu'à des sujets rachitiques à grande mortalité.

On trouvera dans *The Transactions of Illuminating Engineering Society*, n° 4 de 1927, les résultats d'une autre série d'essais : Deux lots de poulet reçurent la même nourriture et le même traitement à cela près que les uns étaient placés dans un poulailler dont la fenêtre, exposée au midi, était ouverte pendant le jour, tandis que les autres étaient placés dans un poulailler dont la fenêtre, constamment fermée, était munie de verres à vitre ordinaires. Au bout de huit semaines, le poids moyen des poulets du premier groupe était environ trois fois celui des poulets du deuxième groupe. Ceci montre l'importance des radiations ultra-violettes pour l'assimilation et en particulier pour celle des éléments minéraux, calcium et phosphore.

Le manque de lumière directe du soleil peut être compensé par une exposition momentanée à une source artificielle riche en ultra-violets. Une exposition journalière de dix minutes à un arc nu entre char-

Digitized by Google

bons minéralisés, comme ceux qui sont utilisés pour les applications photographiques, suffit à assurer une croissance normale. Des résultats très intéressants ont été obtenus avec des lampes Cooper Hewitt en verre. De 6 lots de poulets, le premier ne fut pas exposé, les lots 2, 3, 4, 5 et 6 le furent respectivement pendant, 1, 2, 4, 6 ou 8 heures journellement. Les poids moyens des groupes au bout de six semaines, étaient dans le rapport des nombres 170, 215, 250, 340, 535 et 540. Il n'y a donc aucun bénéfice à prolonger le traitement au delà de 6 heures. Un examen spectroscopique montra que ce résultat était dû à ce que le cristal dont la lampe était faite, laissait passer plus de rayons ultra-violets entre 3 100 et 3 000 A que le verre à vitre ordinaire.

2° *Pièges à insectes.*

Les dégâts causés par l'insecte à l'agriculture se chiffrent par milliards et justifient des procédés de défense coûteux. Parmi ceux-ci il a été utilisé des pièges composés d'une source de lumière destinée à attirer l'insecte et placée au-dessus d'un bassin en métal brillant formant miroir et contenant de l'eau et du pétrole où l'insecte vient se noyer. Un rapport sur cette question a été présenté, le 7 octobre 1927, au Congrès annuel de « Empire State Gas et Electric Association ». On a étudié, pour les lampes, les puissances et les couleurs les plus favorables, la hauteur à laquelle doivent être placés les pièges suivant les insectes à combattre.

Des essais ont été également faits dans les chambres froides où l'on conserve les fruits. Après quelques jours de fonctionnement des pièges, il ne fut pas possible de constater la présence d'un seul insecte vivant dans la salle frigorifique.

D'autres pièges se composent d'une lampe et d'un dispositif destiné à tuer l'insecte par contact électrique. L'un de ceux-ci placé dans une étable a capturé dans un délai de 60 jours 100 000 mouches et un grand nombre d'autres insectes. La meilleure source lumineuse semble une lampe dépolie blanche, le rouge étant la couleur la moins favorable.

Dans *Utility Bulletin* du 12 septembre 1927 sont donnés les résultats de la protection d'un champ de tomates par des pièges situés sur des poteaux à 3 m du sol : la perte fut réduite de moitié par rapport à celle des champs voisins non protégés.

Digitized by Google

3° *Forceries de plantes.*

Des résultats techniques certains ont été obtenus, mais le développement de cette application semble entravé par des considérations économiques. Cependant, dans *Light* octobre 1927, sont signalés des essais effectués dans des serres en Suède pendant les mois d'hiver où la durée de l'éclairage diurne est très faible. Les éclairements réalisés étaient de 150 à 300 lux. L'auteur assure que l'économie de chauffage, qui résulte d'une croissance plus rapide des plantes, fait plus que compenser les dépenses d'éclairage.

Des essais ont également été faits (*Nature*, 9 avril 1927) pour déterminer l'influence d'alternances de périodes d'éclairage et d'obscurité de quelques heures et ont montré que pour les plantes, pour lesquelles la floraison était favorisée ou au contraire empêchée par des jours de courte durée, le résultat obtenu est le même que celui produit par des jours de longue durée, ou par un éclairage permanent.

4° *Germination des graines.*

On a essayé (*Science*, 18 mars 1927) de déterminer l'influence des différentes régions de l'ultra-violet sur la germination des graines. On opérait à l'aide d'une lampe à vapeur de mercure et d'écrans. On a trouvé que, tandis que la région 3 200 — 3 900 A stimulait la germination, les régions 2 700 — 3 200 A et au-dessus de 3 900 A, la ralentissaient.

Digitized by Google

L'ÉCLAIRAGE DES SCÈNES DE PRISE DE FILMS

par M. M. LEBLANC.

Deux problèmes sont actuellement à l'étude dans l'éclairage des scènes de prise de films :

1° L'emploi de lampes à incandescence survoltées.

2° La recherche de nouvelles sources lumineuses que nécessite le film panchromatique.

1° L'emploi de lampes à incandescence survoltées a déjà fait l'objet de communications de MM. AGRALL et MATIGOT à la semaine d'octobre 1927 de la S.F.E.

Il reste à préciser de combien la lampe doit être survoltée au-dessus de la tension normale pour laquelle elle a été établie.

Il faut noter que pour établir des comparaisons utiles, il faut connaître le régime (nombre de lumens par watt) pour la tension normale d'utilisation.

Les Américains semblent se contenter de surtensions de l'ordre de 15 à 20 pour cent, alors qu'en France on a tendance à prendre des valeurs plus élevées, on pousse par exemple des lampes de 85 V jusqu'à 120 V.

2° Le film ordinaire est sensible aux radiations de 4 000 à 5 000 A avec maximum de sensibilité vers 4 700. Le film orthochromatique est sensible de 4 000 à 5 700 avec deux maxima, l'un vers 4 800, l'autre vers 5 500. Enfin, le film panchromatique est sensible de 4 000 à 6 800 avec un léger maximum vers 4 800.

Le film panchromatique a l'avantage de donner des détails quelle que soit la coloration de l'objet filmé, d'autre part de permettre au metteur en scène de se rendre plus facilement compte du résultat qu'il obtiendra. Pour ces raisons son emploi se développe rapidement.

On comprend facilement que les sources très riches en radiations

Digitized by Google

de courtes longueurs, lampes à arc ou lampes à vapeur de mercure qui convenaient parfaitement pour le film ordinaire sont moins efficaces pour le film panchromatique.

En plus des essais concernant les lampes à incandescence survoltées, d'autres sont faits, pour, d'une part, allier les lampes à vapeur de mercure aux lampes à incandescence et, d'autre part, trouver des charbons métallisés donnant un spectre également riche en radiations de toutes longueurs d'onde. Après quelques difficultés pour obtenir des spectres suffisamment riches en radiations vertes, il semble que les charbons de la Compagnie pour les charbons de Nanterre donnent maintenant entière satisfaction.

Digitized by Google

PROGRÈS RÉALISÉS DANS LA TECHNIQUE DE L'ENSEIGNE LUMINEUSE

par M. Fonsèque, des Établissements Paz et Silva

Lettres Sololux et Lumina ; réflecteurs spéciaux ; tubes luminescents ; appareil de projection de vitrine.

L'année qui vient de s'écouler a apporté à l'industrie de l'enseigne lumineuse un certain nombre de nouveautés et d'améliorations à la technique ancienne qu'il est intéressant de noter.

1° *Lettre dite « Sololux » Brevetée.*

La surface de cette lettre affecte la forme d'un paraboloïde de révolution présentant un renflement dans son centre, permettant de placer une lampe au foyer (fig. 1).

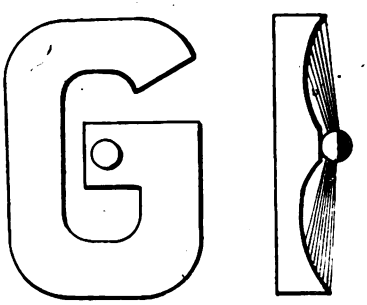


fig. 1.

Cette disposition permet d'éclairer uniformément au moyen d'une seule lampe, des lettres de grandes dimensions, jusqu'à 1 m 20 et même 1 m 80. La lettre peut être construite en tôle plombée ou en matière moulée. La calotte de la lampe d'éclairage est rendue opaque par un vernis spécial ou par une capote métallique peinte, pour permettre de masquer le point lumineux.

Digitized by Google

2° *Lettre dite « Lumina » Brevet français.*

Les usagers de l'enseigne lumineuse se sont plaints que l'enseigne en lettres zinc, à lampes apparentes, offrait l'inconvénient de présenter pendant le jour un aspect peu élégant. L'installation de ce type d'enseigne était prohibée sur la façade des immeubles tels que : les hôtels de luxe, les grandes maisons de couture, etc.

La nouvelle lettre *Lumina* présente la particularité d'affecter l'aspect extérieur d'une lettre en zinc doré, identique aux lettres non lumineuses adoptées pour les enseignes les plus luxueuses. Les lampes d'éclairage sont placées à l'intérieur de la lettre et elles éclairent un listel et un chanfrein ajourés ménagés. dans la surface de la lettre (fig. 2).

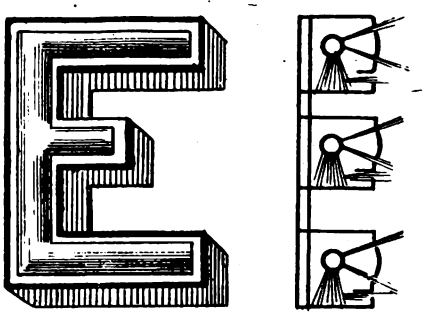


fig. 2.

Les lampes sont invisibles et les larges parties éclairées de la lettre le sont indirectement.

3° *Réflecteurs spéciaux pour lettres lumineuses.*

On a eu l'idée d'adjoindre aux lampes d'éclairage d'une lettre zinc creuse de petits réflecteurs métalliques placés le long du jambage de la lettre. Si les lampes employées sont des lampes relativement de grande puissance lumineuse (60 ou 100 watts), le filament de la lampe disparaît dans le faisceau lumineux du miroir et l'effet produit est assez curieux. Ce mode opératoire est une simplification du procédé employé avant guerre et qui consistait à loger les lampes d'éclairage de la lettre dans des godets en verre argenté noyés dans l'épaisseur de la lettre.

Digitized by Google

4° *Tubes luminescents.*

La technique de ces enseignements a été très améliorée, en ce qui concerne les différentes couleurs de la lumière obtenue.

Sans parler du procédé élémentaire qui consiste à colorer le tube luminescent, au moyen d'un vernis, l'emploi de verres spéciaux fluorescents et les différents dosages du mélange des gaz rares ont permis de réaliser toute une nouvelle gamme de couleurs non encore obtenues précédemment.

5° *Appareil de projection de vitrine.*

Il a été réalisé au cours de cette année un appareil automatique très simple, capable d'être vulgarisé et permettant de projeter sur la glace de devanture d'un magasin un film reproduisant un texte calligraphié.

Cet appareil constitue une innovation intéressante de publicité lumineuse dans les vitrines.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS

Sommaire

2e Section. — Suite de la discussion du rapport de M. Granat sur l'éclairage des studios p. 636.

5e Section. — L'automatique rural (M. Robert Dreyfus) p. 639.

6e Section. — Sur les lois de l'induction électromagnétique (M. Brylinski, Iliovici, Liénard, Leauté) p. 642.

Un nouvel isolant : la thiolite (M. Samuel) p. 647.

2e Section — Éclairage et chauffage

Président M. Maurice Leblanc

Séance du 24 avril 1928. — *Suite de la discussion du rapport de* M. Granat, *sur l'éclairage des scènes de prises de vues cinématographiques.*

M. Oswald fait un court historique des études poursuivies à la Compagnie Lorraine des Charbons sur « les charbons à arcs spéciaux pour les prises de films panchromatiques »; puis il rappelle les différents types de charbons pour studios :

1° Charbons à flamme bleuâtre et à spectre pratiquement continu depuis 6 300 angstroms jusqu'à l'ultra-violet non absorbé par le verre avec maximum d'énergie extrêmement net à la limite de l'indigo et du violet (région 4 200, 4 300). Ces charbons ne conviennent pas à la prise de films panchromatiques.

2° Charbons « lumière du jour » et analogues à flamme jaune, jaunâtre ou rosée et spectre discontinu, sans maximum aussi accentué dans le bleu.

M. Oswald fait circuler des planches représentant les spectres de ces différents charbons, notamment des charbons minéralisés au calcium, baryum, potassium et sodium, créés par la Compagnie Lorraine de charbons, et vendus actuellement sous la désignation générique « lumière du jour ». Ces charbons ont actuellement donné toute satisfaction dans les essais auxquels ils ont été soumis dans les studios.

Les mêmes planches donnent les spectres d'une variante des charbons précédents, dans laquelle aux métaux précédents ont été associés le cuivre et le strontium.

Digitized by Google

M. Oswald passe ensuite à l'étude des bases scientifiques de la fabrication des charbons pour prises de films panchromatiques. On choisit des éléments répondant aux conditions suivantes :

1° Rayonnement abondant compris entre le rouge et la limite du bleu et du vert.

2° Rayonnement bleu ou violet relativement faible.

3° Combinaisons suffisamment volatiles pour empêcher la température du cratère de s'élever d'une manière exagérée.

D'après M. Oswald, il y aurait lieu d'insister sur cette troisième condition, car les arcs utilisés dans les studios ont des intensités de courant très inégales, depuis environ 0,09 jusqu'à 0,75 ampères par mm^2 de charbons positifs. Dans le cas des charbons « lumière du jour », on doit éviter la perturbation que produirait un cratère trop chaud.

On a donc retenu, dans les recherches, deux catégories d'éléments : comme éléments fondamentaux, ceux que l'on peut volatiliser facilement et dont on introduit des quantités relativement importantes; comme adjuvants, ceux dont la volatilisation est difficile et dont on réduit les proportions.

Associations d'éléments.

M. Oswald présente trois tableaux indiquant diverses associations d'éléments calcium, potassium, sodium avec d'autres éléments, strontium, baryum, cuivre, carbone et molybdène. Il tire de ces études les deux conclusions suivantes :

1° La prise de films panchromatiques avec l'éclairage par arc électrique est en pratique suffisamment au point pour écarter toute crainte dans l'emploi des charbons.

2° Le perfectionnement de ces charbons exige des recherches très délicates sans qu'on puisse vraisemblablement espérer d'améliorations sensationnelles par rapport à la solution déjà acquise.

M. Granat s'étonne que, dans ces recherches, on se soit préoccupé de réduire la température de l'arc. D'autres expérimentateurs au contraire, ont cherché à élever cette température. M. Chateau fait remarquer qu'il est surtout intéressant d'augmenter la température dans les projecteurs où la flamme n'est pas utilisée. M. Granat maintient son point de vue que dans des appareils de prises de vue, l'utilisation du cratère doit être prise en considération.

M. Baillaud fait remarquer que la température du cratère ne peut

Digitized by Google

guère dépasser 3 700°C; en augmentant l'intensité du courant on augmente simplement la surface du cratère, la brillance de la flamme et la partie violette du spectre. Il attire enfin l'attention sur l'influence des vapeurs de cyanogène. M. GRANAT fait observer que, dans les lampes à haute intensité qui emploient des charbons métallisés, la température atteint 5 000°C.

M. DIDIEE rappelle que les électriciens, dans toutes les appréciations et mesures d'éclairage destinées aux prises de vues, se basent sur des notions d'actinisme. Cette notion, déjà vague par elle-même dans le cas d'une émulsion orthochromatique, est dénué de sens pour une émulsion panchromatique. C'est maintenant à la notion de composition de la lumière qu'il faut arriver et c'est au spectrogramme qu'il faut faire appel.

M. DIDIEE présente un tableau, montrant la proportion des rayons autres que les bleus-violets, en prenant pour base ces radiations, dans le cas d'une lampe à vapeur de mercure, d'une lampe à arc ordinaire, d'une lampe à arc en vase clos, d'une lampe à arc « lumière du jour », d'une lampe à incandescence sousvoltée et survoltée, en faisant usage, soit d'un film ordinaire, soit d'un film orthochromatique, soit d'un film panchromatique.

On peut, d'après ce tableau, distinguer les sources susceptibles d'être employées pour une émulsion orthochromatique ou panchromatique. Ces renseignements ne suffisent pas, car l'émission des sources lumineuses varie de composition avec la portée. On sait, depuis longtemps, que l'arc en vase clos, par exemple, permet d'obtenir un rendu chromatique différent suivant la distance de l'objet éclairé. Le cratère, en effet, émet des radiations rouges et jaunes dont la flamme est totalement exempté. Or, à une faible distance de la source, la lumière émise par le cratère intervient notablement dans l'éclairage total. A une certaine distance, le spectre du cratère disparaît complètement au profit de celui de la flamme.

Au contraire, ce rendu chromatique ne varie que très peu dans le cas de l'arc ordinaire. L'arc en vase clos est contre indiqué pour le film panchromatique à cause de sa pauvreté en rayons jaunes et de l'impossibilité qu'il y a à l'enrichir par le moyen des charbons « lumière du jour ». Les charbons « lumière du jour » sont sujets à des particularités comparables à celles mentionnées pour l'arc en vase clos. La Compagnie Lorraine fabrique maintenant des charbons dont le spectre reste semblable à des distances variables de la source.

Digitized by Google

On a beaucoup parlé, ces temps derniers, d'un éclairage mixte, composé de lampes à incandescence et de lampes à mercure, éclairage qu'on a supposé, *à priori*, susceptible de donner une lumière panchromatique.

On fait actuellement en France, de très intéressants essais dans ce sens; l'éclairage par arcs et lampes à incandescence est actuellement le plus en vogue dans les studios américains. Tout ceci semble confirmer que l'éclairage panchromatique de l'avenir sera donné par la lampe à incandescence pour l'ambiance et par les arcs lumière du jour pour l'éclairage de relief, la proportion de l'un et de l'autre pouvant varier *ad libitum*.

Dans tous les cas, devant un tel éclairage, le fabricant de films panchromatiques convient que les spectres produits et les spectres reçus concordent assez pour donner des résultats de plus en plus parfaits au point de vue artistique.

M. MATIGOT fait remarquer à ce propos qu'il ne suffit pas d'indiquer la surtension à appliquer aux lampes à incandescence et qu'il faudrait indiquer, soit leur consommation spécifique, soit leur température.

5e SECTION.
TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

Présidence de M. REYNAUD-BONIN.

SÉANCE DU 16 MARS 1928. — M. Robert DREYFUS présente la communication suivante sur *l'automatique rural*.

Le problème de l'automatique rural n'est pas aussi nouveau qu'on le croit généralement. Vers 1890 déjà, dans une étude parue dans les *Annales télégraphiques*, REYNAUD préconisait un dispositif automatique permettant de relier dans les campagnes un abonné quelconque à un centre voisin plus important, de façon à donner aux habitants des campagnes les avantages du service permanent, en réalisant cette permanence du service sans personnel au central rural, condition indispensable pour rendre la chose possible du point de vue économique.

Cette idée fut reprise par la suite par M. STEIDLE, actuellement un des fonctionnaires dirigeants du service téléphonique bavarois, en 1906 et imposée par lui au congrès international de Paris en 1910. Les installations du système STEIDLE ont été mises en service, dès cette époque et continuent de donner d'excellents résultats. Leur principe est fort intéressant, et d'autant plus que ce sont des idées tout à fait analogues qui sont la base du programme actuel de l'Administration française.

Digitized by Google

M. STEIDLE avait remarqué que, le plus souvent, dans les communes voisines d'une ville importante, la plupart des appels émis par les abonnés sont destinés à cette ville ou à des abonnés au delà de cette ville. Il en déduisait que le mieux était de donner aux abonnés ruraux des appareils tels que lorsqu'un abonné émettait un appel, celui-ci serait reçu automatiquement au central important où une opératrice y donnait suite. Cette opératrice disposait également d'organes lui permettant d'appeler à distance l'un quelconque des abonnés ruraux; elle pouvait également, le cas échéant, relier entre eux deux abonnés du même centre rural, mais, dans ce cas le circuit entre le centre important et le rural était immobilisé. Dans les centraux du type Steidle, les batteries d'accumulateurs nécessaires au rural étaient chargées, à distance du central important, par le circuit dans l'intervalle des communications; ceci permettait de n'avoir au central rural que des accumulateurs de très faible capacité, d'une dizaine d'ampères-heure environ. Ces centraux ont été réalisés primitivement avec des appareils d'abonnés spéciaux, comportant en particulier des clés spéciales et une sonnerie supplémentaire.

A côté de ce type spécial d'installation rurale, qui s'est surtout développé dans l'Allemagne du sud et aussi en Suisse et en Italie, on a utilisé également des automatiques ruraux qui étaient, à peu de chose près, des installations analogues à celles utilisées dans les installations privées : tous les abonnés recevaient des postes munis de cadrans automatiques, ils s'appelaient entre eux en composant un numéro sur leur cadran, et appelaient le centre voisin en composant un numéro spécial. De telles installations se sont développées à l'étranger d'abord, puis on en fit des essais en France, en Seine-Inférieure.

Ces installations se sont, d'une façon générale, très bien comportées, mais on s'est trouvé en but à des difficultés provenant surtout du mauvais isolement des lignes. Ce mauvais isolement avait pour effet de provoquer l'occupation inutile d'organes de sélection au central qui se trouvait rapidement bloqué. D'autre part, on constata ce qu'avait signalé M. STEIDLE, que la quasi totalité du trafic était destiné au centre important voisin et que le trafic local était pratiquement inexistant. Enfin, la constitution du réseau français est telle que beaucoup de villages ne peuvent être atteints directement du centre voisin, mais par l'intermédiaire d'un autre central rural. Cela a amené l'Administration à poser le problème de l'automatique rural de la façon suivante :

Digitized by Google

Les abonnés des différentes localités rurales conserveront un appareil à batterie locale, la question de l'isolement de la ligne deviendra donc bien moins importante; ils appelleront, en actionnant leur magnéto, le centre important voisin, soit directement, soit en traversant plusieurs centraux ruraux successifs; une opératrice du grand centre leur répondra et donnera suite à leur appel, elle pourra rappeler les abonnés en composant leur numéro au moyen d'un cadran d'appel du type normal. Dans le cas d'une communication locale entre deux abonnés ruraux, l'opératrice opérera de même, mais le circuit de liaison entre le rural et le grand centre devra être libéré, dès la communication établie.

Tel est le problème posé, il soulève un grand nombre de questions délicates, toutes nouvelles. Les abonnés étant à batterie locale, comment donneront-ils le signal de fin? s'ils oublient de la donner, comment coupera-t-on la communication? comment se feront les appels échelonnés d'un bureau vers un autre? etc... Le problème a été résolu par plusieurs constructeurs, aucune installation n'a encore été réalisée, mais de telles installations seront certainement en service à bref délai.

La question de l'alimentation des centraux est particulièrement importante. On a pensé à utiliser, soit des piles, soit des accumulateurs. L'emploi de pile a le grand inconvénient d'être très onéreux et, d'autre part, les éléments utilisés ont une résistance intérieure notable qui se concilie mal avec les pointes de courant nécessaires pendant l'établissement des communications. Nous pensons qu'il est de beaucoup préférable d'utiliser des accumulateurs; ceux-ci pourraient être de très faible capacité et on pourrait envisager de les charger, soit au moyen de redresseurs du type couramment utilisé par les amateurs de T.S.F., soit à distance, en utilisant les circuits téléphoniques eux-mêmes.

A côté de ce type d'installations, signalons pour finir ce rapide aperçu, qu'on a également réalisé, en Allemagne et en Suisse des installations rurales basées sur un principe différent : il consiste à grouper à l'intérieur d'une circonscription, d'étendue variable, un certain nombre de localités, à doter chacunes d'elles d'un central automatique et à les relier entre elles. A l'intérieur de cette circonscription, tous les abonnés communiquent entre eux en composant leurs numéros sur leurs cadrans, et la taxation s'effectue automatiquement en tenant compte de la distance des localités et parfois aussi de la durée

Digitized by Google

de la conversation. Le trafic entre un abonné de la circonscription et un abonné d'une autre régon est assuré par une opératrice interurbaine placée au chef-lieu de la circonscription. De telles installations existent en Bavière depuis 1923. L'administration des téléphones suisses a décidé d'en réaliser également autour de Lausanne dans un rayon de 50 km environ.

6e SECTION
RECHERCHES PHYSIQUES. — PHYSIOLOGIE. — APPAREILS DE MESURE.

Président M. LIÉNARD.

SÉANCE DU 28 MARS 1928. — Discussion *sur les lois de l'induction électromagnétique.*

M. E. BRYLINSKI. — Il ne me paraît pas inutile de rappeler, même au moyen de notions déjà connues, qu'il n'y a, au fond, qu'une seule loi de l'induction électromagnétique présentée sous deux formes différentes dont le domaine est d'ailleurs limité.

Dans un langage abrégé, on peut dire que ces deux formes sont la loi en $\frac{d\Phi}{dt}$ et la loi en Hlv.

La loi en $\frac{dt}{d\Phi}$ qui lie la force électromotrice induite dans un circuit à la variation totale du flux d'induction magnétique qui traverse ce circuit, est la loi générale de l'induction électromagnétique.

Mais, bien que cette expression soit celle de la loi fondamentale de l'induction, elle n'est pas absolument générale, car elle n'est applicable qu'à des circuits fermés.

En ce qui concerne la loi en Hlv, il importe d'abord de remarquer que cette expression est impropre et qu'il faut, en réalité, parler d'une loi en Blv, c'est-à-dire du flux d'induction coupé par le conducteur. Le champ et l'induction magnétiques, n'ont, en effet, les mêmes valeurs numériques que sous réserve de la réalisation des deux conditions : l'emploi du système électromagnétique de mesures et l'application à des corps non ferromagnétiques, pour lesquels la perméabilité magnétique, extrêmement voisine de l'unité (dans le système électromagnétique), peut sans inconvénients être prise égale à 1. Si la première de ces conditions est presque toujours réalisée dans les pro-

Digitized by Google

blèmes électromagnétiques, il n'en est pas de même de la seconde. Nous ne parlerons donc que de la loi en Blv.

Le seul examen de cette formule indique quelques-unes des limites du domaine d'application de cette loi; le triple fait que la force électromotrice induite est directement proportionnelle à $\mathcal{B}$, à l et à v entraîne, en effet, que le champ magnétique $\mathcal{B}$ est constant, que ce champ a la même valeur aux divers points du conducteur et que la vitesse v est constante. On sait, en outre, que cette loi suppose que les directions du champ, du conducteur et de la vitesse forment un trièdre rectangle. L'application brutale de cette loi à des cas situés en dehors du domaine ainsi délimité, entraîne aisément de graves erreurs.

Ceci posé, et étant entendu que l'on n'applique ces deux formes qu'à des cas où elles sont valables, il est aisé de montrer, par un raisonne-

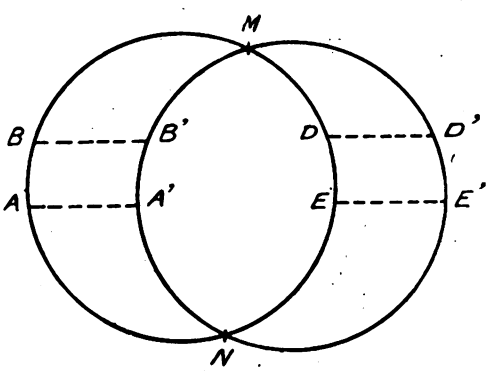


Fig. 1.

ment de rigueur peut-être imparfait mais très simple, que ces deux formes se ramènent l'une à l'autre.

Envisageons (fig. 1) un circuit électrique plan ABMDN et un champ magnétique constant qui lui est perpendiculaire.

Pendant le temps dt, le circuit se déplace en A'B'MD'N dans son plan et la variation du flux d'induction qui le traverse est égale au flux à travers MDND', diminué du flux à travers NABMB'. Or, rien dans le circuit, ne distingue un point plutôt qu'un autre, de sorte qu'on est amené à admettre que la force électromotrice induite ne l'est pas en un point spécial du circuit, mais est un phénomène élémentaire qui se produit en chaque point du circuit et s'intègre sur toute sa longueur.

Dès lors, la force électromotrice induite dans l'élément AB du circuit sera égale au flux à travers ABA'B', c'est-à-dire au flux coupé par

Digitized by Google

l'élément AB divisé par dt. Le long de l'élément ED, la force électromotrice résultera du flux traversant la surface EDE'D', et dans l'intégration le long du circuit, ces deux forces électromotrices se retrancheront l'une de l'autre.

Si nous prenons un élément AB du circuit dont la vitesse v lui soit perpendiculaire, nous aurons :

$$\text{flux ABA'B'} = \mathcal{B} \times \text{AB} \times v dt.$$

Si, au lieu d'un élément AB d'un circuit quelconque, nous avions affaire à une droite finie de longueur l, la force électromotrice induite serait, par conséquent égale à $\mathcal{B}lv$.

Réciproquement, si l'on part de la loi en $\mathcal{B}lv$, on voit immédiatement que le flux coupé par l'élément AB a pour expression :

$$d\Phi = \mathcal{B} \times \text{ABA'B'} = \mathcal{B}lvdt$$

de sorte que

$$\mathrm{E} = \frac{d\Phi}{dt}$$

au signe près; il n'y a, d'ailleurs, pas lieu de nous arrêter à la question de signe, qui fait l'objet de règles spéciales.

Il résulte de là que la loi en $\mathcal{B}lv$ ne fait qu'un avec la loi en $\frac{d\Phi}{dt}$.

Il importe de ne jamais perdre de vue cette identité fondamentale des deux formes de la loi d'induction, non plus que le domaine limité d'application de chacune de ces formes.

M. ILIOVICI. — Dans la démonstration de M. BRYLINSKI, de même que dans les démonstrations élémentaires de la formule : (1) $e = \mathcal{B}lv$, on suppose le milieu immobile, homogène, isotrope et paramagnétique.

Or, dans les machines électriques, ces conditions ne sont pas remplies : le milieu n'est pas homogène et une partie de ce milieu est solidaire du conducteur qui se déplace par rapport au champ magnétique.

Dans ce cas, la formule n'est pas toujours valable et la question soulevée par M. BUNET, point de départ de la discussion actuelle, était de savoir s'il ne convenait pas de l'abandonner parce qu'en l'appliquant dans certains cas, on arrive à des résultats complètement faux.

Dans la discussion qui a eu lieu à la semaine d'octobre 1927, nous avons montré qu'à notre avis, la formule (1) devrait être conservée à cause de sa simplicité et parce qu'elle est d'un emploi commode pour l'étude théorique aussi bien que pour le calcul pratique des machines. On devrait seulement, dès qu'on rencontre cette formule dans l'enseignement, indiquer nettement les cas où elle n'est pas valable.

Digitized by Google

Dans les cas pratiques, pour savoir si elle est applicable, il suffit de fermer le conducteur à l'aide d'un circuit fictif quelconque, de déplacer le conducteur, le reste du circuit restant fixe, et de voir si la variation à travers le circuit fermé, pendant un temps dt, est bien égale au flux à travers la surface balayée par le conducteur dans son déplacement.

Ceci arrive, par exemple, pour les conducteurs placés dans un entrefer lisse de machine, ou pour ceux placés dans la cavité cylindrique intérieure d'un enroulement en anneau de dynamo. D'une façon générale, la formule (1) n'est applicable que si le déplacement du conducteur et de la substance magnétique qu'il entraîne est tel que la surface de séparation entre ce milieu (supposé homogène) et l'air glisse sur elle-même.

Ainsi, elle ne s'applique pas aux conducteurs placés dans les encoches ou les trous des machines électriques.

Pourtant dans la pratique, on applique même dans ce cas, une formule de forme (1), mais en prenant pour $\mathcal{B}$, non pas l'induction à l'endroit où se trouve le conducteur, mais en un point de l'entrefer situé dans un même plan radial.

Pour que cette façon de faire soit justifiée, il faut : 1° que la formule (1) puisse être appliquée à un conducteur placé dans l'entrefer, parallèlement au conducteur donné et situé dans le même plan radial; ce qui nécessite que l'entrefer soit lisse; 2° que la f. é. m. induite dans une spire formée par les deux conducteurs soit nulle.

Ces deux conditions sont à peu près satisfaites dans les machines à trous; la première ne l'est pas tout à fait dans les machines à encoches, dans lesquelles le déplacement de l'armature fait varier le flux dans l'entrefer.

En résumé, l'application de la formule (1) $e = \mathcal{B}lv$ dans les machines doit se faire avec une grande prudence; si on rencontre une disposition nouvelle, on ne doit considérer le résultat obtenu par l'application de cette formule comme exact, que s'il concorde avec celui obtenu par l'application de la formule $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ à un circuit fermé contenant le conducteur donné.

En particulier, si on prend pour $\mathcal{B}$ sa valeur en un point du conducteur, la formule (1) n'est pas applicable si le conducteur est entouré, en tout ou en partie, d'une substance magnétique solidaire avec lui et dont la surface de séparation ne glisse pas sur elle-même lorsque le conducteur se déplace.

Digitized by Google

Nous pouvons remarquer que la formule (1) est plus générale qu'on le croit d'habitude, si on désigne par $\mathcal{B}$ la composante de l'induction, suivant la normale au plan formé par deux positions infiniment voisines du conducteur, et par v la projection de la vitesse sur la perpendiculaire au conducteur situé dans le plan précédent.

La formule (1) peut d'ailleurs se généraliser et on trouve :

$$(2) \qquad e = \int \mathcal{B} v dl,$$

dl étant un élément du conducteur l, qui peut être de forme quelconque, $\mathcal{B}$, la composante de l'induction suivant la normale au plan formé par deux positions infiniment voisines de dl, et v la composante de la vitesse suivant la perpendiculaire sur dl située dans le plan précédent.

M. LIÉNARD. — Lorsqu'un induit denté a tourné de l'angle de deux encoches, le champ inducteur est redevenu le même. Il en résulte que la variation totale de flux à travers une spire pendant cette rotation est la même que si le noyau d'induit n'avait pas tourné et que l'on ait fait sauter la spire par-dessus une dent d'une encoche à la suivante, déplacement dans un champ fixe au cours duquel la formule $\mathcal{B} lv$ aurait été valable.

La conséquence est que cette dernière formule, si elle ne donne pas la valeur exacte à chaque instant de la force électromotrice développée, donne du moins exactement la valeur moyenne de cette force électromotrice.

M. LEAUTE ajoute qu'il faut également tenir compte des modifications apportées au champ inducteur par la réaction d'induit. D'une part, la rotation de l'induit tend à entraîner le champ de réaction, mais, d'autre part, la commutation le ramène en arrière. D'où des forces électromotrices qui provoquent une chute de tension de la dynamo.

M. LIÉNARD fait observer à ce sujet :

1° Qu'ici encore la règle $e = \mathcal{B} lv$ permet d'évaluer d'une manière exacte en moyenne la réaction d'induit, parce que le champ de réaction redevient le même toutes les fois que l'induit a tourné de l'angle de deux lames au collecteur (1).

(1) La phrase du texte suppose que le nombre d'encoches est égal au nombre des sections de l'induit et de lames au collecteur. Si le nombre d'encoches est la moitié ou le tiers de s, comme il arrive souvent en pratique, il faudra naturellement tourner d'un angle double ou triple de l'angle de deux lames pour que le champ redevienne bien le même.

Digitized by Google

La règle *Blv* donne donc d'une manière correcte la force électromotrice moyenne développée par une dynamo, même si l'induit est à trous ou denté et quelle que soit la réaction de l'induit.

2° Que la réaction d'induit ne produit de diminution de force électromotrice que dans les dynamos à pôles saillants. Dans les machines à pôles lisses, l'effet est nul, tout au moins si le métal n'est pas saturé.

M. SAMUEL présente une communication sur *Un nouvel isolant : La Thiolite.*

Il rappelle que les substances isolantes sont en général des corps polymérisés et à poids moléculaire élevé : paraffine, caoutchouc, bakélite, etc... et que les propriétés isolantes augmentent lorsqu'on a réussi à greffer une molécule de masse élevée, par exemple la molécule de soufre qui, dans le cas du caoutchouc, conduit à l'ébonite.

L'introduction d'une molécule de soufre dans la bakélite a donné lieu à un nouvel isolant, la thiolite, en sulfurant la bakélite par le chlorure de soufre.

La formule de la bakélite pouvant être symboliquement représentée par B — H, le mécanisme de la réaction serait, d'après M. SAMUEL, le suivant :

$$B — \boxed{H \quad cl} — S — S — \boxed{cl \quad H} — B$$

et conduirait à attribuer à la thiolite la formule B — S — S — B.

Cette formule correspond bien d'ailleurs à la quantité de soufre exigée par la réaction.

Le produit obtenu se présente sous la forme d'une poudre blanche, susceptible d'être moulée directement à l'état pur.

Cette poudre est inodore et soluble dans les principaux solvants organiques : alcool, benzine, etc... Grâce à cette propriété, il est possible de faire des vernis à la thiolite.

La résistivité de la thiolite est considérable, de l'ordre de 300 millions de mégohms-centimètre; la rigidité diélectrique est élevée et les pertes en haute fréquence faibles.

Son pouvoir inducteur spécifique est de 4, 5.

La thiolite s'électrise facilement et conserve au plus haut point les charges résiduelles : cette propriété peut être gênante pour l'application de cette substance à la construction des électromètres.

M. POMEY signale l'intérêt que pourrait présenter cet isolant en té-

Digitized by Google

léphonie et demande à M. SAMUEL si des essais comparatifs avec les autres isolants ont été effectués. Sur la réponse négative de M. SAMUEL, M. POMEY l'engage à effectuer des essais méthodiques analogues à ceux qui sont effectués en Allemagne. Il ajoute qu'un rapport de M. BIGORGNE sur ce sujet a été publié dans les *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* de mars 1928 (1).

(1) La question des essais d'isolants est à l'ordre du jour de la 2e Commission de l'U.S.E. Une sous-commission a élaboré un programme d'essais pour lequel elle s'est inspirée des travaux de M. Bigorgne. Ce programme sera soumis dans le courant de juin 1928 à la Commission plénière et il sera publié aussitôt après son adoption.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production et utilisation mécanique de l'électricité.

— **Utilisation des Forces hydrauliques.** (*Etudes générales et Installations de chutes*). Professé à l'Ecole spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie, par M. Degove, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. — *Troisième Edition*. — Paris, Librairie de l'Enseignement technique, Léon Eyrolles, éditeur, 1928 ; un vol. broché 25cm × 16cm, de 11 376 pages, avec 237 fig. et planches hors texte. [Prix : 50 francs]. (Don de l'éditeur).

— **La technique du bobinage des machines électriques,** par R. Bardin, Ingénieur électricien E. S M. E., diplômé de l'Ecole supérieure d'Aéronautique. — Paris, Librairie centrale des Sciences, Desforges, Girardot et Cie, 1928 ; un vol. broché 18cm × 11cm,5, de 72 pages, avec 36 fig. (Don de l'éditeur).

— **Din Aspectele Ploblemei Combustibililor, Productia, consumatia si economisirea lor in Instalatiile termo industriale,** par l'Inginer Mihai Vasiliu. (Publications de l'Institut national roumain pour l'étude de l'aménagement et de l'utilisation des sources d'énergie, n° 11). — Bucarest, 1928 ; un vol. cartonné 23cm × 16cm, de 68 pages. (Don de l'Institut national roumain).

Télégraphie et Téléphonie.

— **Lânderkarten des europâischen Fernsprechnetzes.**— Sonderheft des « Europäischer Fernsprechdienst », Zeitschrift fur den internationalen Nachrichtenverkehr. Herausgeber : Dr. Ing. E. h. P. Craemer, und Dr. phil. Dr.-Ing., E. h. A. Franke. Mai 1928.— Berlin, Verlag Europäischer Fernsprechdienst, 1928 ; un vol. broché 29cm × 21cm, de 247 pages, avec 32 cartes. (Don des éditeurs).

Formulaires, aide-mémoire, manuels, etc...

— **Le Chef mécanicien-électricien,** par A.-E. Blanc, Ingénieur électromécanicien. *Tome IV ; Electricité générale.* — Paris, Librairie centrale des sciences, Desforges, Girardot et Cie, 1928 ; un vol. broché 19cm × 12cm, de 607 pages, avec 230 fig. (Don de l'éditeur).

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité

Utilisation des forces hydrauliques. (Etudes générales et installations de chutes) par Degove, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées. Troisième Édition, revue et augmentée. Un volume (16 × 25) de 376 pages, 237 figures et 7 planches hors texte. Prix 50 fr. Librairie de l'Enseignement Technique, Léon Eyrolles éditeur, Paris.

Cet ouvrage, fruit de l'expérience personnelle de M. Degove, contient un grand nombre de renseignements inédits, classés d'une façon ordonnée et rationnelle.

Les faits et les principes importants sont illustrés par des exemples, presque tous accompagnés d'un croquis ou d'une vue. Pour les questions capitales, des tableaux donnent d'un seul coup d'œil les éléments caractéristiques des principaux ouvrages exécutés dans le monde. Aucun autre recueil ne contient autant de renseignements sur les grands barrages, anciens ou modernes.

Sans entrer dans le détail des calculs, qui relèvent des traités spéciaux d'hydraulique, de construction ou de mécanique, ce livre donne sur chaque question les formules essentielles et rappelle les principes généraux qui servent à les établir.

Sur toutes les questions controversées, il résume les points de vue des ingénieurs de l'une ou de l'autre opinion ; il s'appuie toujours pour conclure sur les résultats de l'expérience et sur les faits acquis, et chaque fois que les données de la pratique manquent, il le signale. Ce qu'il expose sur l'état actuel de la comparaison entre les barrages-poids et les barrages-voûtes, sera lu avec intérêt par les étudiants d'abord, qui ne trouveront ces considérations exposées dans aucun autre traité, mais aussi par tous les Ingénieurs auxquels les revues techniques et les polémiques quotidiennes ne présentent jamais qu'un seul aspect de la question.

Sur les conduites forcées, leur calcul, leur réglage, la disposition de leurs accessoires, on trouve réunis des renseignements que l'on ne peut se procurer d'ordinaire qu'au prix de laborieuses recherches.

Dans le dernier chapitre, l'auteur résume les principaux textes de loi ou de règlements applicables aux forces hydrauliques.

L'auteur, aujourd'hui disparu, aimait à dire à ses amis le plaisir que lui causait la rédaction de son ouvrage. Ses lecteurs comprendront et partageront ce plaisir.

Canalisation. — Distribution. — Traction.

L'électrification de la France (Le gaspillage de nos ressources énergétiques) par Maurice Mollard, sénateur de la Savoie. — 1 vol. 19 × 24^{cm} de VI-228 p. Paris Dunod 1928. Broché 20 francs. Don de l'éditeur.

« Toute augmentation d'impôts qui, corrélativement, n'est pas accompagnée d'une augmentation de production, ruine le pays ».

Après s'être ainsi exprimé à la tribune du Sénat, le sénateur Mollard qui est ingé-

Digitized by Google

nieur électricien a cherché le remède ; il montre, dans cet ouvrage, les ressources immenses que la France doit retirer de l'utilisation rationnelle de ses forces énergétiques.

Ce n'est pas une solution doctrinale qu'il nous offre, c'est un programme complet de réalisation, car le sénateur Mollard s'est assuré, pour l'exécution de ce plan sûr et hardi, une collaboration technique de premier ordre et les concours financiers nécessaires. Ce livre indique les moyens de multiplier la production du pays et de l'affranchir économiquement de l'étranger.

Aucun de ceux qui s'intéressent à la question capitale de l'électrification de la France, ne peut se dispenser de lire ce livre.

Nous ajouterons toutefois que M. Marlio, Président de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques, a protesté dans le *Journal des Débats* du 4 avril 1928, contre certains chiffres cités par M. Mollard, notamment contre le nombre des communes électrifiées en France d'une part, en Russie de l'autre.

Appareils de mesure.

Moyens de fausser les indications des compteurs électriques et mesures à prendre pour s'en préserver par Geldermann. — Traduit de l'allemand par R. Weiller. 1 vol 22×14^{cm} (VI-130 pages), Paris et Liége, Béranger 1926, prix 24 francs.

L'auteur envisage les procédés qui permettent de fausser les indications des compteurs, non pas en faussant le compteur lui-même, mais en modifiant les connexions entre le compteur et les appareils récepteurs de l'abonné et modifiant ainsi les courants à travers le compteur. Certains défauts accidentels (par exemple, mises à la terre), peuvent produire le même résultat sans intention malveillante.

L'auteur examine suivant la nature du courant du réseau, quels sont les dispositions et montages qui permettent la falsification facile des indications et ceux qui rendant cette falsification impossible ou tout au moins beaucoup plus difficile, doivent être employés de préférence.

L'ouvrage est évidemment appelé à rendre service aux exploitants des réseaux ainsi qu'aux fabricants de compteurs.

Formulaires. — Aide-mémoire. — Manuels.

Manuel du Mécanicien électricien à l'usage des installateurs de réseaux de distribution à haute et basse tension, conducteurs de moteurs en tous genres, d'éclairage, etc..., par H. de Graffigny. — Un volume in-18 de 224 pages avec 95 figures dessinées par l'auteur. Gauthiers-Villars et C°, 1928. Broché. Prix : 15 francs. (Don de l'auteur).

Cet ouvrage, rédigé en vue des Professionnels de l'Industrie Electrique, contient les indications les plus essentielles sur l'établissement, le calcul, la mise en place et l'entretien des machines et appareils que l'on rencontre le plus généralement dans les Secteurs et les Usines génératrices d'électricité : dynamos, transformateurs, accumulateurs et moteurs à courant continu ou alternatif. Les principes sur lesquels est basé le fonctionnement de ces machines sont rappelés succinctement sans trop s'appesantir sur les formules et calculs qui permettent de déterminer les conditions d'établissement de chaque organe mécanique ou électrique entrant dans la construction des appareils. C'est surtout un guide pratique rappelant aux électriciens les dispositions données aux mécanismes électriques pour fournir les résultats les meilleurs, qu'il s'agisse de moteurs, de transmissions ou de tout autre organe dont il est nécessaire de connaître à fond le mode d'action afin d'en tirer le meilleur parti possible. Le nom de l'auteur de cet ouvrage est d'ailleurs un sûr garant de l'intérêt et de la valeur de ce nouveau manuel pratique.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

Réunion mensuelle de Juillet 1898.

M. Ducretet présente une communication sur la *télégraphie hertzienne sans fil*, avec les radioconducteurs de M. Branly et les dispositifs de MM. A. Popoff et E. Ducretet.

Le conférencier rappelle la découverte des ondes hertziennes en 1889, les transmissions réalisées par Popoff en 1895, par Marconi en 1896, l'une et l'autre utilisant les radioconducteurs découverts par Branly en 1890. Il décrit ses propres appareils pour la réception et la transmission. Il prévoit que la télégraphie sans fil pourra assurer la liaison entre des postes rapprochés (Marconi avait à cette époque, transmis sur 23 km) et la commande mécanique à distance par l'emploi de relais, dont il fait fonctionner certains types devant ses auditeurs.

M. Gosselin présente une communication sur les potentiomètres industriels. Après avoir rappelé le principe et les applications des méthodes potentiométriques il décrit les appareils réalisés en France par Chaperon, en Angleterre, par R.-E. Crompton, Elliott, Nalder, en Allemagne par Janssen et Fugner et il termine en proposant l'emploi de deux dispositifs qu'il a lui-même conçus, l'un sous la forme d'une boîte de résistances à décades, l'autre, sous la forme d'un pont Thomson-Varley modifié.

L'Imprimeur-Gérant : Etienne Chiron, Paris.

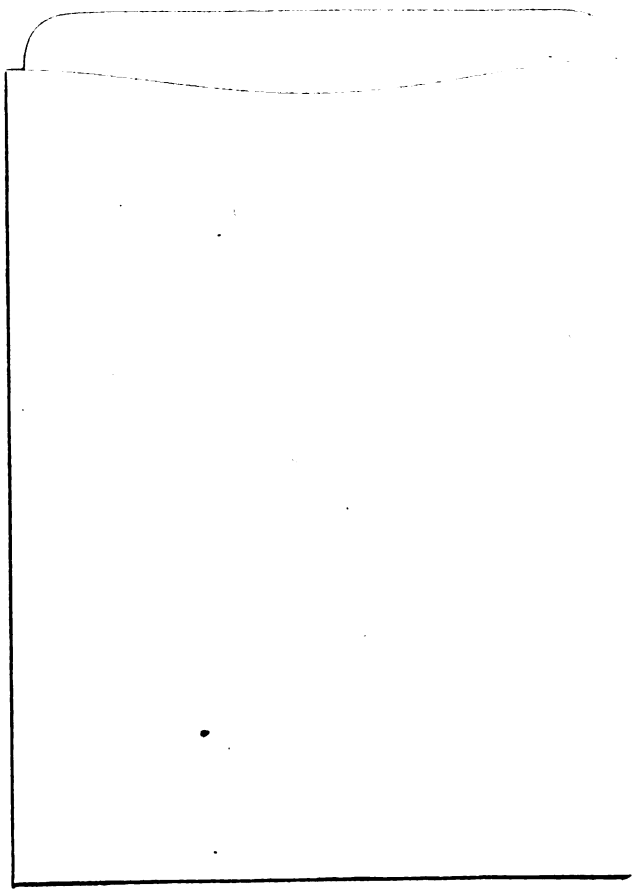
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Date Due



Digitized by Google

The Ohio State University
3 2435 06228924 4
OHIO STATE UNIVERSITY BOOK DEPOSITORY
8 03 12 28 8 06 009